

Análise e melhoria de processos utilizando metodologias *lean* em ambientes *Engineering-To-Order*

Rui Filipe Vieira Sárria

Dissertação de Mestrado

Orientador na FEUP: Prof. José Barros Basto

Orientador na empresa: Eng.º Filipe Ferreira



Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica

2017-06-26

Resumo

O relatório aqui apresentado descreve o trabalho desenvolvido no âmbito de Dissertação Final do Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica, no ramo de Gestão da Produção. Foi realizado na TEGOPI, Industria Metalomecânica S.A., na qual se analisou as linhas de montagem de torres eólicas, com o objetivo de reduzir as fontes de desperdício e melhorar a produtividade.

Para tal, fez-se um estudo do processo produtivo, tentando perceber todos os problemas que poderiam estar a comprometer o bom funcionamento do fluxo. Estudou-se então o *layout* da fábrica, passando pelos diferentes processos e postos de trabalho, contagem dos tempos de produção e registo dos mesmos.

Com o intuito de diminuir o impacto dos pontos mais fracos do processo produtivo, foram desenvolvidos e implementados vários métodos de gestão e melhorias de produção industriais (*lean*), tais como 5S, criação de células de trabalho, *Poka yoke*, *Value Stream Mapping* e indicadores de desempenho.

Para além disso também foram implementados diferentes *standards* em cada uma das zonas da fábrica de forma a ser possível criar normalizações necessárias para a realização do processo produtivo com a menor variabilidade possível e com a menor possibilidade de ocorrência de erros. Também foi proposto um novo modelo de auditoria 5S, o qual tem como objetivo envolver parte da organização da empresa e não só a secção da produção. Este modelo tinha como objetivo tentar conectar melhor várias secções diferentes, tornando assim possível uma integração mais dos colaboradores e das suas opiniões.

O trabalho realizado no chão de fábrica mostrou-se de extrema importância pois, não só permitiu analisar todas os problemas existentes e visualizar situações com potencial melhoria, como também permitiu conhecer os colaboradores e conseguir com o seu apoio tentar melhorar os seus postos de trabalho.

Com a implementação das várias metodologias descritas foram atingidas melhorias positivas da produtividade para todo o processo. Todas as reduções obtidas não se devem apenas à realização deste projeto, mas também ao trabalho conjunto de toda a área de produção da fábrica, não podendo os seus resultados ser isolados desses mesmos ganhos. Com as implementações propostas também se conseguiu melhorar as condições de trabalho dos colaboradores, de forma a ser possível potencializar a concretização das diferentes tarefas de forma mais eficaz.

Implementation of Lean methodologies

Abstract

The report presented here describes the work developed in the scope of Final Dissertation of the Master's Degree in Mechanical Engineering, in the field of Production Management. It was realized in *TEGOPI, Industria Metalomecânica S.A.*, in which the assembly lines of wind towers were analyzed, with the aim of reducing the sources of waste and improve the productivity.

In this regard, a study of the productive process was made, trying to perceive all the problems that could be compromising the good functioning of the flow. It was studied the company's layout, going through different processes and jobs, counting and recording production times.

To reduce the impact of weaker points in the production process, several management methods and lean manufacturing improvements, such as 5S, work cell creation, Poka yoke, Value Stream Mapping and performance indicators, have been developed and implemented.

In addition, different standards have been implemented in each one of the zones in order to be able create the necessary normalizations for the realization of the productive process with the lowest possible variability and with the least possible occurrence of errors. A new 5S audit model has also been proposed, which involves part of the company's organization and not only the production section. This model was intended to improve the connections between several different sections, thus making it possible to integrate more of the employees and their opinions.

The work performed on the factory floor proved to be extremely important because it not only allowed us to analyze all the existing problems and visualize situations with potential improvement, but also allowed to know the employees and, with their support, try to improve their quality of work.

With the implementation of the various methodologies described, positive improvements in productivity were achieved for the entire process. All the reductions obtained are not only due to the realization of this project, but also to the joint work of the entire production area of the factory, and its results cannot be isolated from these same gains. With the proposed implementations, it was also possible to improve the working conditions of the employees, so that it is possible to potentialize the accomplishment of the different tasks in a more effective way.

Agradecimentos

Ao Engenheiro Filipe Ferreira por todo o apoio, motivação, formação e disponibilidade mostrada ao longo do decorrer do projeto.

A todos os colaboradores da empresa por toda a cooperação mostrada no decorrer das tarefas.

Ao Professor José Barros Basto, orientador do projeto pela parte da FEUP, por toda a disponibilidade imediata para esclarecimento de dúvidas e por todo o conhecimento partilhado.

Aos meus pais e às minhas avós pelo seu apoio incondicional durante todo o meu percurso académico.

À minha namorada por todo o apoio incondicional, dedicação em ajudar, motivação e pelos momentos partilhados ao longo destes anos.

Aos meus amigos pela sua amizade, apoio e companheirismo demonstrado nos bons e maus momentos ao longo do nosso percurso académico.

A todos os que de uma forma ou de outra contribuíram direta ou indiretamente durante estes últimos cinco anos.

Índice de Conteúdos

1	Introdução	1
1.1	Motivação.....	1
1.2	Enquadramento.....	1
1.3	Objetivos do projeto	2
1.4	Método seguido no projeto.....	2
1.5	Estrutura da dissertação	3
2	Revisão Bibliográfica.....	4
2.1	Conceitos e Metodologias <i>Lean</i>	4
2.1.1	Princípios <i>Lean</i> e Melhoria Contínua.....	4
2.1.2	Indicadores de desempenho.....	5
2.1.3	<i>Value Stream Mapping</i>	6
2.1.4	Sistema <i>Poka-yoke</i>	7
2.1.5	5S	8
2.1.6	Just-In-Time e Takt time	9
2.1.7	SMED	10
2.1.8	Medição e Definição de tempos <i>standard</i>	10
2.1.9	Sistema Gestão Qualidade	11
2.2	Teoria das restrições.....	11
2.3	Ambientes de produção <i>Engineer-to-Order (ETO)</i>	12
3	Apresentação da empresa e caracterização do processo.....	14
3.1	Apresentação da empresa TEGOPI-Indústria Metalomecânica, S.A.	14
3.2	A Torre Eólica	15
3.2.1	Contexto histórico	15
3.2.2	Componentes mecânicos	15
3.3	Organização da empresa e processo de produção de torres eólicas	16
3.3.1	Corte e Chanfragem	17
3.3.2	Calandragem	17
3.3.3	Soldadura Semiautomática.....	18
3.3.4	SAW e <i>Arc-air</i>	19
3.3.5	Controlo Ultrassom (US).....	20
3.3.6	Desempeno e Limpeza.....	20
3.3.7	Montagem das virolas.....	21
3.3.8	Montagem do aro da porta.....	21
3.3.9	Correções e acabamentos.....	21
4	Análise <i>As-Is</i> do processo produtivo.....	22
4.1	Fábrica das virolas	22
4.1.1	<i>Layout</i>	22
4.1.2	Identificação do problema e de fontes de desperdício.....	23
4.1.3	Gestão do fluxo produtivo e plano de ações.....	26
4.1.4	Medição dos tempos das tarefas	26
4.2	Linhas de Crescimento e acabamentos	27
4.2.1	<i>Layout</i>	27
4.2.2	Identificação de problemas e das fontes de desperdício	28
4.2.3	Gestão do fluxo produtivo e plano de ações.....	29
4.3	Elaboração do <i>Value Stream Mapping</i> e estudo do <i>lead time</i>	29
5	Definição do modelo <i>To-Be</i> e implementação	31
5.1	Definição e implementação de indicadores de desempenho	31
5.2	Fábrica das virolas	32
5.2.1	Implementações de melhorias para resolução de problemas.....	32

5.2.2	Método de controlo do WIP	34
5.2.3	Análise do <i>takt time</i> e dos tempos e métodos dos processos produtivos	35
5.2.4	Definição de <i>standards (To-Be)</i> de trabalho para cada tarefa e posto de trabalho ao longo do processo produtivo	36
5.3	Linhas de crescimento e acabamentos	38
5.3.1	Implementação das ações propostas para resolução de problemas	38
5.3.2	Definição de <i>standards (To-Be)</i> de trabalho para cada tarefa e posto de trabalho ao longo do processo produtivo	40
5.4	Implementação de Auditoria 5S	43
6	Conclusão	45
6.1	Monitorização e Resultados	45
6.2	Conclusão	49
6.3	Trabalhos Futuros	50
	Referências	51
	ANEXO A: Cronograma	53
	ANEXO B: Planta da Fábrica	54
	ANEXO C: Fluxograma de produção	55
	ANEXO D: Swimlane da fábrica das Virolas	56
	ANEXO E: VSM do Projeto N90R80	57
	ANEXO F: Quadro de indicadores da fábrica das virolas	59
	ANEXO G: Quadro de indicadores das Linhas de Crescimento e Acabamentos	61
	ANEXO H: Quadro de eficiências das equipas das Linhas de Crescimento	63
	ANEXO I: Quadro de indicadores dos defeitos	65
	ANEXO J: Base de Dados dos Raios para apoio a calandrar	66
	ANEXO K: Desenho de definição da estrutura para suporte dos raios de apoio às calandras	67
	ANEXO L: Template de controlo de WIP da fábrica das virolas	68
	ANEXO M: Desenho do projeto N90R80	69
	ANEXO N: Folha de Normalização de Operações	70
	ANEXO O: Processo de execução e marcação de acabamentos	71
	ANEXO P: Lista de auditoria 5S	72

Siglas

CL	Posto de Calandra
CQ	Posto de Controlo Qualidade
DC	<i>Direct Current</i>
ETO	<i>Engineer-to-Order</i>
h	Horas
JIT	<i>Just-In-Time</i>
kg	Quilogramas
KPI	<i>Key Performance Indicators</i>
L	Posto de Limpeza
LT	Posto de Soldadura Longitudinal
MAG	<i>Metal Active Gas</i>
MIG	<i>Metal Inert Gas</i>
min	Minutos
mm	milímetros
MTO	<i>Make-to-Order</i>
<i>Muda</i>	Forma de desperdício
MW	<i>Megawatts</i>
<i>Poka Yoke</i>	À prova de erros
REN	Rede Energética Nacional
SAW	<i>Submerged Arc Welding</i>
SMED	<i>Single Minute Exchange of Die</i>
TEGOPI	Teixeira Gomes & Pinho
TOC	<i>Theory of Constraints</i>
TPS	<i>Toyota Production System</i>
US/UT	Controlo Ultrassom
VSM	<i>Value Stream Mapping</i>
WIP	<i>Work in Progress</i>

Índice de Figuras

Figura 1 – Curva do ciclo de vida de um produto	1
Figura 2 – Enquadramento do produto no seu ciclo de vida	2
Figura 3 – Cronograma da dissertação	3
Figura 4 – Exemplo de um VSM (Rother, Shook, and Institute 2003).....	6
Figura 5 – Diagrama 5S (Barreto 2016)	8
Figura 6 – Novo Sistema Gestão Qualidade (Santos 2003)	11
Figura 7 – Sobreposição numa Indústria ETO (Saia 2009).....	13
Figura 8 – Vista exterior fábrica da TEGOPI.....	14
Figura 9 – Parque eólico de London Array (Chandoo 2014)	15
Figura 10 – Estrutura de uma torre eólica (Prandi 2012)	16
Figura 11 - Esquema de calandragem numa calandra de quatro rolos (Oliveira 2011)	17
Figura 12 – Esquema de soldadura semiautomática, a cinzento zona termicamente afetada ..	18
Figura 13 – Elementos de uma soldadura semiautomática (Silva 2014).....	18
Figura 14 – Esquema de soldadura por arco submerso (Silva 2014)	19
Figura 15 – Preenchimento por soldadura por arco submerso, a cinzento zona termicamente afetada.....	20
Figura 16 – Preenchimento exterior, a cinzento zona termicamente afetada	20
Figura 17 - Esquema de remoção por arc-air, a cinzento zona termicamente afetada	20
Figura 18 – Esquema de soldadura por arco submerso da zona exterior, a cinzento zona termicamente afetada.....	20
Figura 19 – Esquema de sequenciamento de produção.....	21
Figura 20 – Layout da fábrica das virolas	22
Figura 21 – Swimlane da fábrica das virolas.....	23
Figura 22 - Exemplos de locais com buracos no chão	23
Figura 23 – Carrinhos no meio do caminho	24
Figura 24 - Mangueiras danificadas	24
Figura 25 - a) posto LT1 com apoios inferiores; b) posto LT3 sem apoios inferiores.....	25
Figura 26 – Estrutura suporte aos raios utilizados como apoio à calandragem.....	25
Figura 27 – Layout das Linhas de crescimento e acabamentos.....	27
Figura 28 – Diagrama de spaghetti das Linhas de Crescimento.....	28
Figura 29 – VSM do processo de produção da torre	30
Figura 30 – Esquema de implementação dos indicadores de resultados.....	31
Figura 31 – Buracos tapados e mangueiras novas	32
Figura 32 a) etiquetas para posicionar nos equipamentos; b) etiquetas colocadas na máquina	33
Figura 33 – a) etiquetas indicadoras dos raios; b) etiquetas colocadas na estrutura de suporte dos raios.....	33
Figura 34 - Desenho em SolidWorks® da estrutura para suporte dos raios.....	34

Figura 35 – Template de controlo de WIP (representação apenas para as linhas 1, 2 e 3)	35
Figura 36 – Modelo de melhoria dos acabamentos	39
Figura 37 - Layout da fábrica com posição dos postos de alimentação dos cristos de soldadura	39
Figura 38 – Exemplo de novo local de deposição de material para alimentação dos cristos ...	40
Figura 39 - Diagrama de spaghetti para a nova implementação de equipas.....	40
Figura 40 – Esquema iteração 4	42
Figura 41 - Diagrama de aplicação das Auditorias 5S	43

Índice de Tabelas

Tabela 1 – Tempos relativos aos vários projetos realizados nos últimos 9 meses (tempos colocados em horas).	27
Tabela 2 – Cálculo do takt time [horas] dos processos da fábrica das virolas.	35
Tabela 3 – Tempos dos processos da fábrica das virolas.	36
Tabela 4 – Tempos standard definidos.	37
Tabela 5 – Tempos de produção dependendo da espessura da chapa[mm].	37
Tabela 6 – Nº virolas por espessura do projeto 1161.	38
Tabela 7 – Tempos de paragem do cristo e totais de produção tendo em conta a combinação de tramos.	41
Tabela 8 – Representação dos resultados das iterações.....	42
Tabela 9 – Lista de verificação 5S.....	44
Tabela 10 – Tempos totais de produção e média móvel desses tempos [h]. (Dados TEGOPI)	45
Tabela 11- % Melhorias Gerais	46
Tabela 12 – Dados relativos aos tempos de produção (h) em cada zona da fábrica (Dados TEGOPI).....	47

Índice de Gráficos

Gráfico 1 – Variação do WIP ao longo do mês de Maio.....	34
Gráfico 2 – Evolução dos tempos de produção por torre do Projeto 1161.....	46
Gráfico 3 – Resultado após cálculo da Média Móvel dos quatro últimos tempos	46
Gráfico 4 – Nº Não conformidades em pinos (Dados Empresa Pintura e Acabamentos).....	48
Gráfico 5 – Resultados do controlo de Qualidade da soldadura SAW nas longitudinais das virolas.	48
Gráfico 6 - Resultados do controlo de Qualidade da soldadura SAW nas circulares.	49

1 Introdução

1.1 Motivação

Durante a sua origem até a sua comercialização em grande escala os produtos passam por várias fases de crescimento, desde épocas com procuras extremamente elevadas até uma fase de declínio devido a depreciações tecnológicas existentes. Ao conjunto destas fases designa-se por ciclo de vida do produto

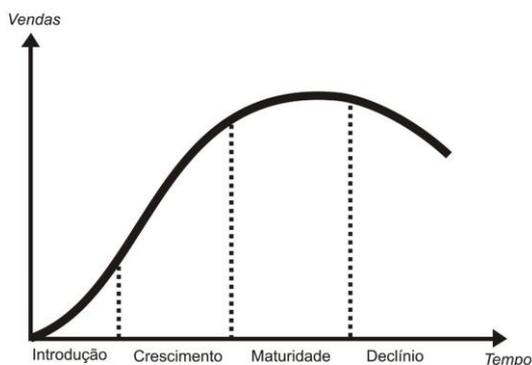


Figura 1 – Curva do ciclo de vida de um produto

Como se pode ver na Figura 1 durante uma primeira fase onde o produto é uma novidade há um pequeno crescimento da procura. Crescimento esse que se vai acentuando à medida que o tempo passa devido à necessidade da utilização do produto. No entanto, após o decorrer do tempo iremos chegar a uma fase de “maturidade” onde o produto já está fortemente desenvolvido e há uma grande série de produtores a desenvolver o mesmo. Por fim, devido ao número cada vez maior de produtores e com a depreciação do produto ao longo dos anos a curva começa a ter uma tendência decrescente.

Atualmente o ciclo de vida dos produtos tende a ser cada vez mais pequeno, e com o enorme desenvolvimento industrial em que vivemos é essencial apostar em novas formas de melhorar a produção para ser possível continuar num nível competitivo face a todas as outras empresas. E é exatamente com esse problema que nos deparamos. Num ambiente *Engineer-to-Order*, onde a interpretação do ciclo de vida de um produto é extremamente importante, os processos de produção devem estar extremamente desenvolvidos de forma a ser possível responder atempadamente aos pedidos realizados pelos clientes, deixando-os satisfeitos e aumentando o seu poder no mercado.

1.2 Enquadramento

Enquadrando o projeto, esta dissertação irá ser realizada no âmbito da análise do processo produtivo de uma torre eólica. Nos últimos anos a sua produção tinha vindo a atingir um crescimento exponencial, expectável, tendo em conta o uso cada vez mais frequente das energias renováveis. No entanto, atualmente, devido à grande concorrência que começou a surgir proveniente do mercado estrangeiro, nomeadamente do mercado chinês, as empresas com menor capacidade de uma rápida produção a preços reduzidos necessitam de potencializar a utilização dos meios que dispõem. Isso é de extrema importância para se conseguirem manter competitivas e apresentarem respostas/resultados positivos face aos pedidos realizados pelos seus clientes. Para tal, é necessário analisar todo o processo de produção e procurar formas de

reduzir o desperdício, para se conseguir melhorar os resultados e a produtividade. Isso é possível através da implementação de metodologias *lean*.

Considerando a localização atual do mercado de torres eólicas na curva de ciclo de vida deste produto (Figura 2), o principal objetivo é manter o nível competitivo da empresa, mesmo face às dificuldades apresentadas pelo desenvolvimento da indústria do setor.

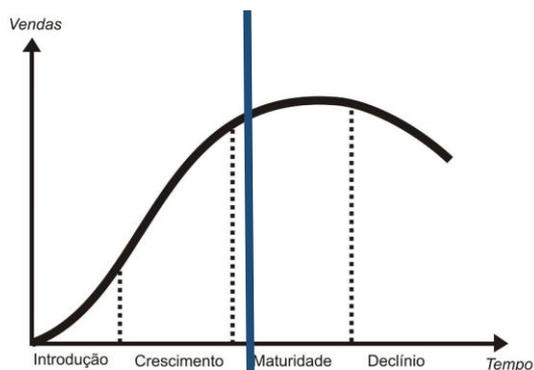


Figura 2 – Enquadramento do produto no seu ciclo de vida

1.3 Objetivos do projeto

O principal objetivo deste projeto é a melhoria da produtividade das linhas de montagem dos tramos das torres eólicas. Como a empresa mantém uma produção *Engineer-to-order*, é essencial o rápido e bom funcionamento de todos os processos. Para tal irá ser analisado cada processo desde a calandragem da chapa, até ao controlo final antes da pintura, de forma a identificar fontes de desperdício existentes e tentar eliminá-las ou reduzi-las ao máximo. Para além disso também se pretende a implementação de *standards (To-Be)* de trabalho para cada tarefa e/ou posto de trabalho ao longo do processo. Em simultâneo irá ser implementado os 5S nos postos de trabalho com o intuito de melhorar as condições, conseguindo assim facilitar o trabalho dos operadores em conjunto com a redução de potenciais fontes de desperdício.

Espera-se que com isto seja possível aumentar o número de tramos produzidos por semana, de forma a aumentar a produção da empresa. Como as torres eólicas representam aproximadamente 70% do volume de negócios total da empresa (TEGOPI 2016) é essencial a melhoria da linha de produção deste produto para melhorar a atividade económica da empresa.

1.4 Método seguido no projeto

No início da realização do projeto foi elaborada uma metodologia de abordagem ao problema, identificando as fases críticas na sua realização.

Inicialmente, irá ser analisado o estado atual de cada fase do processo, através da medição dos tempos das tarefas e consequente elaboração do *Value Stream Mapping (VSM)* do processo. Com isto também serão analisadas todas as possíveis fontes de desperdício. Em simultâneo irá ser realizada uma revisão bibliográfica sobre o tema, de forma a adquirir o conhecimento necessário sobre que metodologias *lean* adotar em casa caso.

Numa segunda fase irão ser analisados os processos e os tempos retirados, começando por definir *standards (To-Be)* de trabalho para cada tarefa e posto de trabalho ao longo do processo produtivo. Também irão ser definidos indicadores de desempenho que irão ser implementados com o intuito de melhorar a performance dos trabalhadores.

Por fim irá ser realizado uma monitorização das mudanças criadas para analisar os resultados obtidos e verificar se a abordagem foi a correta.

Para uma melhor análise foi elaborado um cronograma (Figura 3) apresentado com maior detalhe no anexo A.

Atividade	w1	w2	w3	w4	w5	w6	w7	w8	w9	w10	w11	w12	w13	w14	w15	w16	w17	w18	
Planeamento e Abordagem à realização da dissertação																			
Revisão Bibliográfica																			
Caracterização da empresa e do negócio																			
Análise As-Is do processo produtivo																			
Análise do processo																			
Identificação das fontes de desperdício																			
Medição dos tempos das tarefas																			
Realização do Value Stream Mapping																			
Análise e avaliação dos takt times																			
Definição e Implementação de modelos To-Be																			
Implementação de metodologias Lean no shop floor																			
Definição de standards (TO-BE) de trabalho																			
Implementação standards																			
Implementação de indicadores de desempenho																			
Análise dos resultados																			
Elaboração da dissertação																			

Figura 3 – Cronograma da dissertação

1.5 Estrutura da dissertação

Esta dissertação encontra-se dividida em 6 capítulos.

No primeiro capítulo é encontrada uma curta explicação sobre as motivações que levaram à realização desta dissertação, assim como o seu enquadramento no mercado e a metodologia a implementar. Também está presente uma breve explicação acerca da organização do relatório.

No segundo capítulo é apresentada uma revisão bibliográfica acerca de conceitos e de metodologias *lean* que foram consideradas indicadas para a implementação no processo. Também está presente uma análise de ambientes de produção *Engineer-to-order*.

No terceiro capítulo é apresentada a empresa na qual foi realizada a dissertação, assim como o produto a ser comercializado e o seu processo de produção.

No quarto capítulo é apresentada uma análise *As-Is* do processo produtivo, mais concretamente uma análise de cada fase do processo assim como dos tempos medidos, e do *Value Stream Mapping* correspondente. Também estão presentes as fontes de desperdício identificadas.

No quinto capítulo é feita uma avaliação do *takt time*, uma análise dos tempos e do processo produtivo e são definidos *standards* de trabalho, indicadores de desempenho e propostas de melhoria. De seguida são expostas as implementações dessas metodologias.

No sexto capítulo é apresentada uma análise dos resultados, assim como as propostas de melhoria para ser aumentada a produtividade e as conclusões. Por fim são expostas propostas de trabalhos futuros.

2 Revisão Bibliográfica

2.1 Conceitos e Metodologias *Lean*

2.1.1 Princípios *Lean* e Melhoria Contínua

O conceito *Kaizen*, ou melhoria contínua, está associado a constantes melhorias e desenvolvimentos dos processos e de todos os seus intervenientes, sem que seja necessário grande investimento. Para ser possível a sua implementação é necessária a existência de uma gestão de topo, de forma a garantir o empenho e a completa integração dos trabalhadores, para que eles tomem iniciativa na implementação de práticas ideais para o ótimo funcionamento do processo (Coimbra 2013)

É possível ver este espírito de melhoria contínua por detrás de todas as inovações criadas por *Taiichi Ono* na Toyota, que desenvolveu uma nova forma de organizar a produção e a logística – *Toyota Production System* (ou transformações *lean*) que se baseia na criação de um fluxo de materiais e informação. No entanto, apesar de por vezes serem pequenas mudanças, nem sempre a sua implementação é fácil. A principal dificuldade encontra-se na forma como a nova ideia é aceite. A maneira de pensar de cada pessoa é diferente, e por vezes, a mudança de mentalidade em relação a uma nova abordagem para a resolução dos problemas é um obstáculo bastante difícil de contornar (Coimbra 2013)

Para por este sistema em prática, as empresas necessitam de desenvolver um forte compromisso com alguns princípios de um fluxo *Pull*¹ (Coimbra 2013).

Os principais princípios *kaizen* são:

- Qualidade primeiro (*Quality first*). Deve ter-se sempre em atenção a qualidade do produto e ter sempre em consideração que o “próximo processo” é o cliente, ou seja, é necessário que este fique satisfeito com o produto final.
- Optar por uma visão *Gemba* (*gemba orientation*). Ter sempre em consideração que o que aconteça na ficção nem sempre é o que acontece na realidade. Deve-se então ter sempre uma noção real de como o processo irá ocorrer quando for posto em prática.
- Redução do desperdício ou *muda* (*Waste elimination*). Este é outro dos tópicos que mais atenção necessita ao tentar melhorar o fluxo de um processo. É considerado desperdício todas as atividades que absorvem recursos, mas que não acrescentam valor (Jones and Womack 2013). Existem sete tipos fundamentais de *muda*:

¹ Sistema *Pull* – apenas autoriza produção com base nas encomendas: controla o nível de WIP e observa a taxa de produção.

- Produção excessiva (*Overproduction*). Está neste tipo de *muda* a acumulação de inventário na fábrica devido a um erro de previsões. Pode provocar um excesso de inventário na fábrica e também uma utilização excessiva de recursos.
- Processamento excessivo (*Too much processing*). Quando o número de operações ao longo de um processo é superior às quais seriam necessárias para a satisfação do cliente.
- Movimentação desnecessária (*People moving*). São consideradas todas as movimentações desnecessárias que o operador realiza enquanto está a realizar a sua tarefa.
- Tempo de espera (*People waiting*). Todo o tempo que os operadores ou as máquinas estão paradas devido a estarem à espera do material da fase anterior.
- Tempo do material (*Inventory*). Inventário que provoca elevados custos de armazenamento entre outros tipos de problemas.
- Movimentação dos materiais (*Transportation*). Movimentação de materiais/produtos dentro da fábrica, a qual não acrescenta nenhum valor ao cliente, o que leva a um encargo adicional.
- Não conformidades e defeitos (*defects*). Peças que não estão corretas e são reparadas ou descartadas.
- Desenvolvimento do pessoal (*People Development*). Dar todas as capacidades e formações necessárias aos trabalhadores para realizarem corretamente e com qualidade as respetivas tarefas.
- Criação de *standards* (*Visual standards*). Criação de *standards* visuais para cada tarefa ou posto de trabalho, de forma a ser possível uma otimização do movimento dos colaboradores.
- Processos e Resultados (*Process and results*). Não querer saber apenas dos resultados, mas sim dar a mesma importância ao processo. Ou seja, acreditar que para obter os resultados ideais é necessário também ter os processos ideais.
- Pensamento de um fluxo *Pull* (*Pull-Flow thinking*). Este é um princípio mais controverso. Para isto ser atingido é necessária uma grande redução do inventário, assim como um ótimo fluxo de material e de informação.

Outro princípio fundamental para a implementação destes sistemas é o respeito por todas as pessoas. Antigamente muitas das condições às quais os colaboradores estavam sujeitos eram consideradas e descritas como más, por vezes até extremamente perigosas. Atualmente isso já não acontece com grande frequência, sendo que a política da produção *lean* envolve todas as opiniões do colaborador (Liker 2003). O principal objetivo é servir como um incentivo de forma a promover a lealdade e o compromisso dos colaboradores, para que eles façam o máximo pela empresa. Atribuindo a formação correta e ouvindo sempre a sua opinião é possível grandes melhorias, pois estes são os que passam mais tempo no chão de fábrica, sendo as pessoas que melhor conhecem o funcionamento do equipamento e que têm um conhecimento mais profundo das tarefas e dos processos. Aliás, a inutilização da opinião do trabalhador é considerada outro tipo de desperdício pois pode fazer com que se perca tempo, ideias e oportunidades de melhoria por não ser dada a devida atenção (Liker 2003).

2.1.2 Indicadores de desempenho

Indicadores de desempenho ou KPI (*Key Performance Indicators*) consiste na inserção de métodos de desempenho que tornem possível verificar quem está a realizar os processos mais corretamente. Não é considerada apenas uma forma de avaliação, mas sim também uma

forma de conseguir manter os colaboradores competitivos entre si, pois para além da atribuição de prémios que possam existir para os que tenham melhor desempenho, também ninguém gosta de se ver a ser ultrapassado. Pode também ser uma forma de melhorar o processo, pois após analisar o colaborador com melhor desempenho, é possível analisar como ele realiza a tarefa e aconselhar os outros colaboradores que realizam a mesma tarefa a fazê-lo da mesma forma.

2.1.3 Value Stream Mapping

O VSM (Figura 4) é uma ferramenta com a qual é possível ser realizada uma análise atual do estado dos processos, através de uma visualização do fluxo de produto/peça desde as matérias-primas até o produto final a ser comercializado (Rother, Shook, and Institute 2003). É uma ferramenta de extrema importância na implementação de uma metodologia *Lean* pois:

- Auxilia na visualização do fluxo de forma organizado e como um todo, e não apenas os processos isolados entre si;
- Apresenta uma linguagem global para a forma como tratar todos os processos;
- É a base da implementação de uma produção *lean*, pois permite estudar a organização atual dos processos e identificar os desperdícios existentes e as suas fontes;
- Permite relacionar o fluxo de informação e o fluxo de materiais;

Pode-se então dizer que é através do VSM que os gestores das empresas podem analisar a situação atual da empresa e pensar em várias oportunidades de melhoria, projetando de seguida a situação futura com o auxílio das ferramentas corretas para atacar cada tipo de desperdício (Locher 2008).

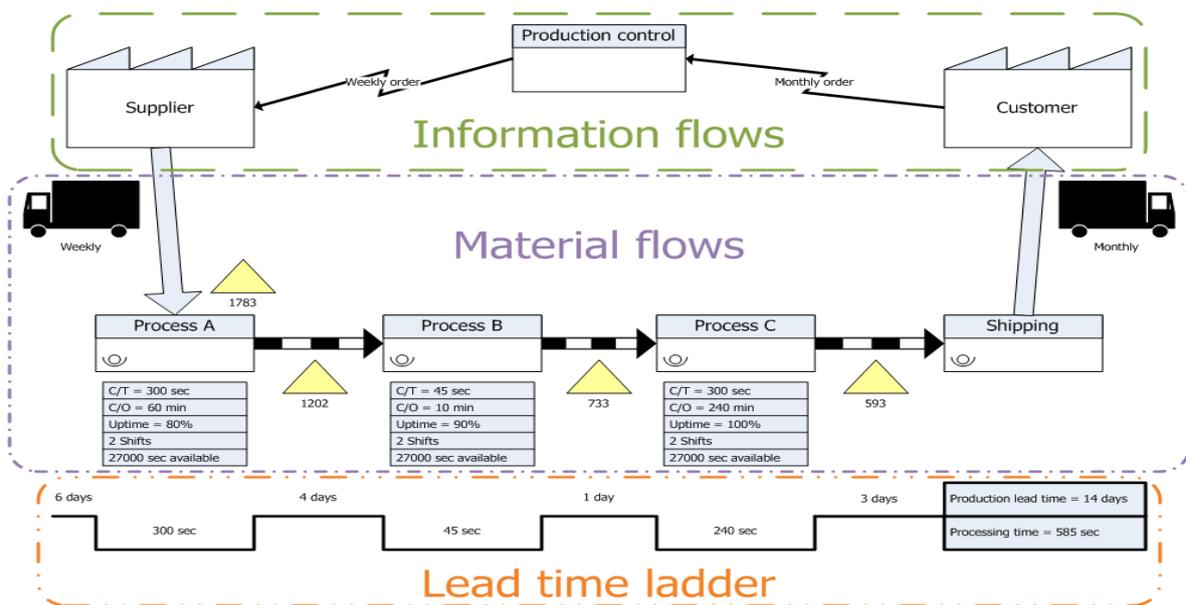


Figura 4 – Exemplo de um VSM (Rother, Shook, and Institute 2003)

Antes do início do mapeamento, é necessário escolher quais os produtos que deverão constituir cada mapa. Isso são as chamadas famílias de produtos. Uma família é um grupo de produtos que passam por etapas semelhantes de produção e utilizam os mesmos (ou semelhantes) equipamentos nos seus processos. O passo seguinte é desenhar o mapa da situação atual para cada uma das famílias. Neste ponto, devem ser listadas todas as possíveis melhorias a projetar e devem ser registadas as seguintes informações (Rother, Shook, and Institute 2003):

- Tempo de ciclo do processo: que é o intervalo de tempo entre a saída de dois produtos consecutivos num processo.

- Tempo de valor: soma de todos os tempos dos passos do processo que o cliente considera essencial para a realização do produto e está disposto a pagar;
- *Lead time*: tempo que uma peça leva desde a matéria-prima até ao produto acabado.

2.1.4 Sistema *Poka-yoke*

“*Poka-yoke*” é uma palavra de origem japonesa e tem como tradução “à prova de erros”. Tal como o nome indica, esta ferramenta envolve o pensamento de que há sempre uma imperfeição no processo, e como tal é possível tomar as atitudes necessárias para o resolver antecipadamente (Shingo 1986). Esta abordagem é muitas vezes conseguida através da implementação de *standards* e métodos visuais que permitem alertar e relembrar potenciais problemas de qualidade que possam surgir numa dada tarefa e posto de trabalho (Liker 2003). Para a aplicação correta desta ferramenta devem ser seguidos seis passos essenciais:

1. Conhecer a falha que deve ser corrigida: é necessário compreender qual o defeito presente no produto e em que fase do processo ele está a acontecer;
2. Verificar as causas: entender qual foi o problema que levou à ocorrência dos defeitos ou das falhas. Esses defeitos podem ser originados por causas tão variadas como um erro na posição da peça num determinado processo, a utilização de uma ferramenta inadequada, ou até mesmo por falha do equipamento. Podem também ser causadas por falha humana (falta de concentração, falta de experiência, lentidão na ação, situação inesperada ou má fé...). Por vezes o excesso de familiaridade com um processo também pode levar à realização de ações as quais podem causar problemas.
3. Planear soluções: perceber como a falha pode ser prevenida, ou, se não for possível, descobrir como o defeito pode ser detetado o quanto antes.
4. Verificar a eficácia da solução proposta: para ser eficaz, a solução proposta deve eliminar a falha ou o defeito sem que tenha grandes impactos na gestão dos custos.
5. Implementar a solução: fazer o mesmo em todos os processos semelhantes da empresa.
6. Registrar o problema e a solução: adquirir e arquivar o máximo de informação acerca da falha e da resolução pode ser de extrema importância para a implementação de resoluções para problemas futuros.

2.1.5 5S

Uma das técnicas cada vez mais preponderantes e com maior visibilidade na implementação de uma produção *Lean* são os “5S”. Esta técnica tem como principal objetivo a organização dos postos de trabalho de forma a aumentar a produtividade e reduzir os desperdícios associados aos processos (Coimbra 2013). Tem as suas raízes na cultura japonesa, e foi inicialmente vista como uma aplicação holística usada para criar padrões de ética e moral. Como se pode ver na Figura 5 os “5S” são baseados nos acrónimos japoneses que começam pela letra S: *seiri* (整理), *seiton* (整頓), *seisou* (清掃), *seiketsu* (清潔) e *shitsuke* (躰) que significam respetivamente utilização, organização, limpeza, saúde e disciplina (Ohno 1988). Os principais benefícios desta técnica são: uma maior motivação e empenho por parte do trabalhador, isto devido a uma melhoria das suas condições de trabalho; um menor índice de acidentes, graças à limpeza e organização do posto de trabalho; e uma maior produtividade, proporcionada pela organização e padronização criada.



Figura 5 – Diagrama 5S (Barreto 2016)

De seguida está uma breve explicação sobre cada um dos S's:

1º S – *Seiri* (senso de utilização): O primeiro S focaliza a sua atenção na eliminação dos itens desnecessários. São analisadas quais as ferramentas e materiais essenciais para a realização da tarefa no respetivo posto, eliminando o que não for essencial. Todos esses itens não indispensáveis são colocados num armazém temporário, por exemplo, para se avaliar a sua possível utilidade no futuro.

2º S – *Seiton* (Senso de ordenação): após uma primeira arrumação dos locais de trabalho, com a retirada de tudo que é dispensável, procede-se à criação de uma nova forma de organização dos postos de trabalho. Nesta fase é crucial identificar a melhor localização para os itens restantes, para que possam ser facilmente arrumados e utilizados; garantir a sua fácil localização; fazer com que as pessoas percebam facilmente quando um item não está no local correto e por fim definir e implementar indicadores para monitorizar a situação.

3º S – *Seiso* (Senso de limpeza): esta terceira fase consiste em manter sempre o local de trabalho limpo, com tudo em ordem e somente com o necessário, para que a sujidade não atrapalhe a produtividade nem crie uma má qualidade do produto.

4º S – *Seiketsu* (Senso de padronização (também conhecido como de saúde)): consiste no desenvolvimento de *standards* nos postos de trabalho, definindo através de procedimentos e instruções os passos a seguir na realização de uma dada tarefa. Para além disso também consiste na criação de *standards* que definam a posição e designem os materiais e as ferramentas no posto de trabalho.

5º S – *Shitsuke* (Senso de autodisciplina): ao estar implementadas condições de trabalho conseguidas através da criação dos primeiros 4 S's é necessário garantir a manutenção dessas condições. Para que todo o trabalho até esta fase tenha sido bem aproveitado, é importante definir um sistema de monitorização das novas regras e práticas adquiridas.

A implementação bem-sucedida desta metodologia irá garantir um aumento da eficiência (principalmente com base na redução de desperdícios) mas também uma maior organização do local de trabalho, o que por sua vez, irá aumentar a qualidade de trabalho dos trabalhadores (Ohno 1988).

2.1.6 Just-In-Time e Takt time

O *Just-In-Time* (JIT) consiste em fornecer ao cliente o que ele quer, quando quer e na quantidade exata que ele quer (Coimbra 2013), conseguindo assim alcançar um nível de excelência através de uma melhoria contínua na produtividade e na eliminação de desperdício. De forma a estes objetivos serem atingidos, um dos principais aspetos a ter em consideração é o *lead time*, que deve ser o mais curto possível. Para tal, é de extrema importância a quantidade mínima de inventário ao longo dos processos (WIP – *Work in Progress* designa o material em curso de fabrico). Esta relação é facilmente explicada através da Lei de *Little*, que diz que o *lead time* é igual ao quociente entre o WIP e a taxa de produção, ou seja, quanto menor o WIP, menor irá ser o *lead time* (Jacobs and Chase 2008). Mas para ser possível aplicar esta metodologia é necessário a existência de algumas condições, tais como:

- Boa relação e flexibilidade com os fornecedores;
- Qualidade da matéria-prima de origem;
- Garantia de uma qualidade dos processos (integração do Sistema de Gestão da Qualidade);
- Balanceamento dos postos de trabalho;
- Colaboradores com formação necessária, autónomos e multidisciplinares;
- Tamanhos de lotes reduzidos.

A flexibilidade para com os fornecedores é de extrema importância para a obtenção de sucesso desta metodologia, pois só com entregas frequentes de matéria-prima será possível responder no menor tempo possível a um dado pedido dum cliente não mantendo grandes volumes de *stock* de matéria-prima (Jacobs and Chase 2008).

A qualidade da matéria-prima também deve ser a melhor possível, pois a necessidade de reparações extra e/ou outros encargos adicionais relativos às matérias-primas podem atrasar em demasia a produção (Jacobs and Chase 2008).

A garantia da qualidade dos processos é essencial, pois ao acompanhar todos os processos é possível verificar a existência de falhas de qualidade mais cedo, não gastando tempo de forma desnecessária na produção de uma peça que já está comprometida desde o início da operação por exemplo. Desta forma também se consegue evitar a propagação de erros em todo o processo produtivo (Coimbra 2013). Este tema irá ser abordado numa fase posterior desta dissertação.

O balanceamento dos postos de trabalho é outra das condições essenciais, pois só através disso é possível reduzir a quantidade de inventário a um mínimo e garantir um fluxo contínuo de produção. É aqui que entra uma noção bastante importante a ser abordada – o *takt time*. *Takt time* é “o máximo intervalo de tempo entre a conclusão de unidades consecutivas dum dado produto e é definido como o quociente entre o tempo de produção disponível e a procura do cliente por um determinado produto” (Modrák 2014). Por outras palavras é o tempo que a empresa deve demorar a produzir um produto conseguindo satisfazer a procura do cliente. Posto isto, é importante balancear os postos de trabalho de forma a que o tempo de ciclo destes seja igual ou de preferência igual ao *takt time*.

A existência de colaboradores capazes e autônomos também garante uma maior flexibilidade das suas ações, assim como uma maior confiança na tomada de decisões diárias relativas à produção, o que permite poupar tempo que seria perdido enquanto esperavam pela resposta ao que fazer. A existência de formações ao longo do período em que o colaborador se encontra na empresa é também importante pois muitas vezes a capacidade de um trabalhador realizar mais que uma ação pode mostrar-se muito útil. Seja no trabalho em células que exijam que um colaborador faça várias tarefas ou na necessidade de ocupar o lugar de outro colaborador que tenha faltado (Coimbra 2013).

O tamanho do lote reduzido é necessário pois numa metodologia JIT é bastante comum ocorrer rápidas variações do produto a ser criado. Além disso, ao produzir lotes de tamanho reduzido possibilita também a redução da quantidade de inventário. No entanto esta redução dos tamanhos do lote tem de ser acompanhada por baixos tempos de *setup*.

2.1.7 SMED

O SMED (*Single Minute Exchange of Die*) consiste na redução dos tempos de *setup* para um valor inferior a dez minutos (Shingo 1986). É então uma ferramenta que visa a redução dos tempos de paragens das máquinas através de uma otimização das mudanças de ferramentas, conseguindo assim corresponder às exigências do tamanho do lote reduzido abordado na política JIT. Como o tempo de preparação de equipamentos é uma operação sem valor acrescentado para o produto, também é considerado uma redução do desperdício (Shingo 1986). Para uma boa aplicação desta ferramenta é importante distinguir corretamente tarefas de *setup* internas e externas. Tarefas internas são aquelas atividades que só podem ser executadas quando a máquina se encontra desligada. Tarefas externas são todas as atividades que podem ser postas em prática com a máquina em funcionamento. A aplicação do SMED passa pela implementação de vários passos (Coimbra 2013) (Shingo 1986):

1. Analisar se os *setups* internos e externos estão misturados;
2. Separar *setups* internos de *setups* externos;
3. Tentar transformar *setups* internos em *setups* externos;
4. Simplificar ambos os tipos de *setups*;
5. *Standardizar* todas as atividades referentes ao *setup*.

2.1.8 Medição e Definição de tempos *standard*

Esta fase passa muito por uma análise do funcionamento dos processos. Para a criação e definição de *standards* é primeiro necessário recolher tempo e analisar os métodos das operações que se tem como objetivo normalizar. Para uma correta análise destes tempos é necessário recorrer a um conjunto suficiente de repetições (uma amostra) para conseguir evitar situações em que ocorrem anomalias que podem até ser externas ao processo. É sempre necessário que os dados sejam considerados estaticamente significativos para a amostra ser considerada válida. É então importante um estudo prévio de número de ciclos de estudo necessários para isso acontecer.

2.1.9 Sistema Gestão Qualidade

Este sistema consiste na obtenção de um produto com maior qualidade e mais rapidamente executado. É uma importante ferramenta para o JIT pois tem como objetivo criar um melhor fluxo com melhor qualidade do processo. Esta abordagem passa essencialmente por uma mentalidade de melhoria contínua (Figura 6). Com um controlo do processo ao invés de um controlo do produto final é mais fácil a identificação de erros e falhas e a sua eliminação, o que é preponderante para a satisfação final do cliente. Para isso é necessário que cada colaborador seja capaz de conseguir verificar a qualidade de execução, pois nesta nova mentalidade a confiança no colaborador é um fator de extrema importância para que o seu funcionamento seja rápido e eficaz. Além disto, quando a empresa trabalha em JIT, não é oportuno estar a refazer peças que já estão no final da linha de produção do início, devido a não ser oportuno desperdiçar tempo para isso.

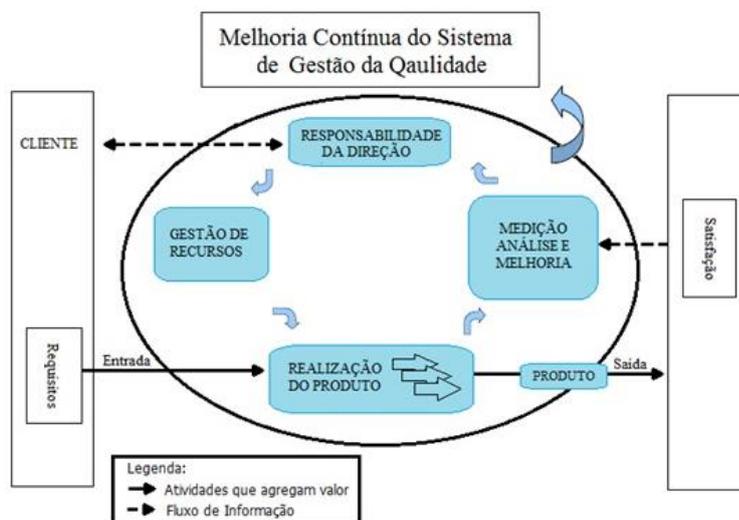


Figura 6 – Novo Sistema Gestão Qualidade (Santos 2003)

2.2 Teoria das restrições

A teoria das restrições (*Theory of Constraints* – TOC) é uma filosofia de negócios que tem como fundamento a existência de restrições ou gargalos² ao longo de um processo. Uma restrição é qualquer ocorrência dentro da empresa que a impede/limita o seu funcionamento normal em prol dos objetivos exigidos (Goldratt and Cox 2006). Existem dois tipos de restrições: as restrições físicas que estão relacionadas com os recursos e as restrições não físicas que pode ser a procura por um produto, um procedimento corporativo ou um paradigma mental.

Com base no estudo industrial (Goldratt and Cox 2006) a TOC explora três indicadores de desempenho que tornam possível a avaliação do conjunto de todas as tarefas. São eles:

- Rentabilidade: taxa através da qual a empresa constrói o seu lucro através da comercialização dos seus produtos;
- Custos operacionais: todo o dinheiro gasto pela empresa na transformação da matéria-prima em produto final;
- Inventário: todo o dinheiro imobilizado na empresa, seja em coisas que ainda podem produzir ou em coisas que poderiam estar a ser comercializadas (aqui também estão inseridos edifícios, terras, veículos e equipamentos).

A TOC passa por três níveis de tomada de decisão: gestão da produção, análise da rentabilidade e gestão dos processos. Nestas tomadas de decisão, para ser aplicada esta ferramenta começa-se por identificar a restrição do sistema, que pode ser o tempo disponível para realizar determinada operação ou a capacidade de produção de uma máquina,

² Gargalo - uma tarefa cuja capacidade de produção é menor que as restantes tarefas do processo, baixando assim a taxa de produção.

departamento ou fase do processo. De seguida, deve ser calculada a rentabilidade por unidade de recurso consumida na restrição, ou seja, deve ser analisada a rentabilidade relativamente ao consumo de recursos necessárias para produzir determinado produto onde foi localizada a restrição. Após isso os recursos e *stocks* devem ser geridos de modo a tentar apenas acompanhar os objetivos definidos para a restrição. É aqui que se começa a implementar as metodologias de melhoria contínua para se conseguir um aumento da produção. Isso é conseguido através de uma melhoria no local da restrição seja através de inovação tecnológica ou de uma organização diferente, de forma a tentar eliminar essa restrição. Após isso deve-se analisar a nova restrição imposta e realizar o mesmo procedimento (Goldratt and Cox 2006).

2.3 Ambientes de produção *Engineer-to-Order* (ETO)

ETO pode ser considerada como uma extensão do *Make-to-order* (MTO)³. A sua ordem dos processos é semelhante com a exceção que no ETO se inclui a fase do desenho e projeto do produto (Saia 2009).

O processo de produção tem início com a solicitação por parte de um cliente. Esse cliente geralmente cria a proposta para vários fornecedores, e de acordo com a resposta que mais lhe agrada procede à escolha. No lado da empresa, se esta conclui que é possível cumprir o pedido, este passa para um responsável que executa uma engenharia simplificada onde são calculados os custos, datas de entrega e uma primeira estrutura do pedido. Se for escolhida é então realizada uma engenharia mais detalhada. As datas para cada tarefa são geradas e a especificação técnica exigida do produto é encaminhada para um engenheiro que analisa a estrutura do produto e calcula as quantidades de itens necessários e os seus preços. De seguida os projetistas fazem os desenhos necessários e é possível então proceder à compra dos materiais. Por fim inicia-se a fase de fabrico, onde também podem ser realizados ensaios e testes para chegar ao produto final. A fase do projeto e de especificações é uma fase crítica, pois, todas as fases seguintes, como a compra dos materiais e o fabrico dependem da rapidez e da qualidade das informações desta etapa (Jacobs and Chase 2008).

As principais características deste tipo de ambiente consistem em longos tempos de *lead time*, a partir da elaboração da proposta até à montagem final, num maior risco e custo resultante da natureza de cada contrato o que faz com que as finanças e a contabilidade estejam sempre focadas nesses contratos. A relação entre os prazos, custos e riscos resulta de um ambiente técnico e financeiro extremamente complexo e exige processos de gestão bem desenvolvidos. Geralmente a quantidade a ser produzida a partir de cada projeto não é elevada o que leva a que uma grande fração dos custos correspondam aos custos de engenharia. Erros nessa fase irão resultar em elevados custos adicionais (Saia 2009).

Devido aos elevados *lead times* e custos, para ser possível reduzir os tempos de produção por vezes é necessário recorrer a sobreposição entre etapas (Figura 7).

³ *Make-to-order* – A produção só é efetuada após ter sido realizada a venda do produto, ou seja, produz-se de acordo com os pedidos existentes.

Isto significa que ao mesmo tempo que é realizada a engenharia é possível passar logo para algumas fases do planeamento e para a compra de alguns materiais mais críticos de forma a ganhar tempo entre as diferentes atividades.

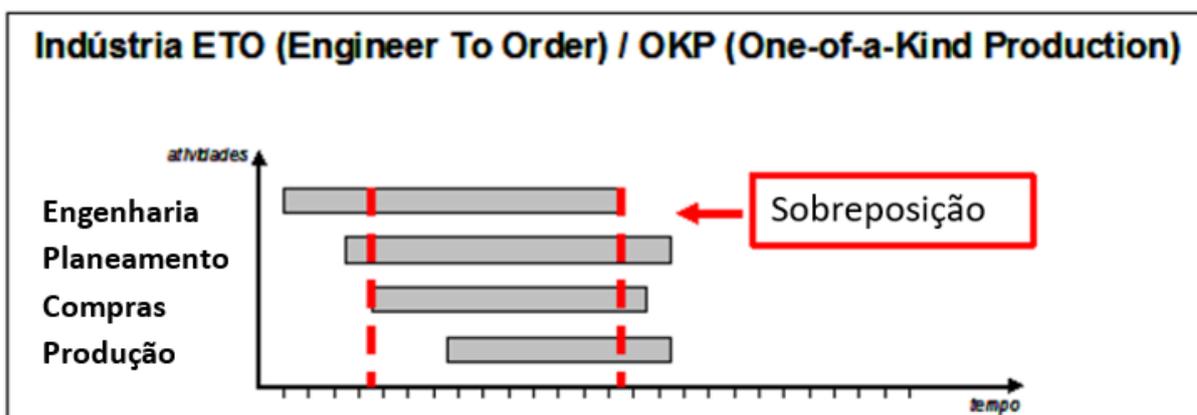


Figura 7 – Sobreposição numa Indústria ETO (Saia 2009)

O produto desenvolvido num ambiente ETO por vezes apresenta-se como uma solução inovadora. Sendo assim, é instável a utilização de uma política de sobreposição com um produto inovador. À medida que a se vai desenvolvendo a produção pode haver necessidades de alteração de engenharia assim como, por vezes, compras efetuadas antes da engenharia ser concluída que não são de todo necessárias para a produção. Estas alterações vão também criar novos problemas ao planeamento. Então para que esta abordagem possa funcionar de maneira produtiva é importante a existência de mecanismos para cancelar rapidamente compras e produções inúteis e para acelerar compras e produções úteis (Jacobs and Chase 2008). Neste ambiente também existe um grande grau de dependência humana pois as soluções para os problemas estão por vezes ligadas às experiências dos profissionais que trabalham nos pedidos. O acesso à informação e à tecnologia nestes postos não é fácil, o que cria dificuldades em formalizar essas informações (Saia 2009).

Com a sobreposição entre as fases, a engenharia, planeamento e fabrico trabalham paralelamente. A engenharia está sempre em constante modificação o que faz com que o planeamento trabalhe com uma estrutura do produto em modificação até quase ao final do ciclo de produção. Para isso é necessário um elevado nível de comunicação entre estes dois intervenientes. Falhas nesta comunicação podem gerar compras desnecessárias. Atrasos na aquisição de matérias ou perda de trabalho caso não seja informado corretamente um cancelamento da produção. É então necessário um controlo específico e um elevado nível de comunicação entre toda a empresa para este tipo de produção, que seja capaz de apoiar a automação das atividades em várias situações comuns de produção.

3 Apresentação da empresa e caracterização do processo

3.1 Apresentação da empresa TEGOPI-Indústria Metalomecânica, S.A.

A empresa foi fundada inicialmente no Porto, em Abril de 1946, com o nome “Teixeira Gomes & Pinho” com o capital social de 50000\$ (250€). A sua principal atividade era instalações elétricas de baixa e alta tensão. Devido ao crescimento da empresa as instalações do Porto começaram a mostrar-se incapazes de suportar a produção, tendo sido necessária a transferência para Vilar do Paraíso, Vila Nova de Gaia, local onde ainda hoje permanece.

Com o surgimento de grandes projetos industriais, em meados da década de 60, a empresa começou a focar-se cada vez mais na área da metalomecânica, com uma área de negócio dedicada ao projeto, fabrico e comercialização de pontes e pórticos rolantes, tendo-se tornado líder do mercado e a imagem de marca da empresa.

Em 1988 a empresa transforma-se em sociedade anónima, passando a designar-se “TEGOPI – Indústria Metalomecânica S.A.”.

Em 2004 o Grupo Quintas & Quintas adquire os 100% do capital da empresa.



Figura 8 – Vista exterior fábrica da TEGOPI

Atualmente a TEGOPI (Figura 8) tem a sua atividade económica centrada em três grandes áreas de negócio: torres eólicas, equipamentos de elevação e movimentação e mecano soldados. Na área dos equipamentos de elevação e movimentação a TEGOPI é líder de mercado com 50% da quota do mercado português. Também na área das torres eólicas é o maior produtor nacional, exportando cerca de 95% da sua produção. Com mercados na Alemanha, França e Reino Unido, os principais clientes são a Nordex, Senvion, GE, Efacec entre outros. (TEGOPI 2016)

No Anexo B pode ser encontrado a planta da fábrica.

3.2 A Torre Eólica

3.2.1 Contexto histórico



Figura 9 – Parque eólico de *London Array* (Chandoo 2014)

Devido aos elevados preços dos combustíveis fósseis e às más condições ambientais que o uso dos mesmos pode gerar, o recurso à utilização de energias renováveis é cada vez mais um aspeto essencial no desenvolvimento de uma economia forte e de um ambiente mais confortável para as populações. Desde cedo, mais propriamente desde meados do século XVI o Homem começou por utilizar moinhos capazes de gerar uma força motriz, com a energia proveniente do vento ou da água.

Contudo a “explosão” deste tipo de energia deu-se com a crise do petróleo na década de 1970. Principalmente nos países com menos capacidade de compra dos combustíveis fósseis, foi necessário desenvolver formas de criar outras fontes de energia (Renováveis 2016). Desde então a criação de parques eólicos tem sido constante, sendo que atualmente o maior parque *offshore*⁴ do mundo (parque eólico de *London Array* (Figura 9) é capaz de produzir 630 MW de eletricidade, sendo assim capaz de fornecer energia para mais de 470000 residências (Portal Energias Renováveis 2015). No ano de 2016 em Portugal, segundo a REN (Prado 2016), a energia eólica representa 24% da produção elétrica nacional.

3.2.2 Componentes mecânicos

O funcionamento de uma turbina eólica consiste na transformação da energia cinética do vento em energia mecânica. Inicialmente a energia do vento faz girar as pás da turbina que por sua vez fazem rodar um eixo, o qual põe em funcionamento o gerador, onde os campos magnéticos convertem a energia rotacional em eletricidade. (LAMTEC 2014)

Existe uma larga variedade para os tamanhos e potências possíveis de uma turbina, no entanto a sua estrutura base é independente destas variações. Como se pode ver na Figura 10, uma turbina é constituída por uma torre, no topo da qual está um compartimento chamado nave e que serve de suporte ao rotor, que geralmente tem 3 pás. Na nave está albergado todo o equipamento elétrico (gerador, aparelhos de controlo de potência e equipamentos mecânicos) que por sua vez estão ligados ao rotor (LAMTEC 2014). Por fim, a fundação suporta a torre e não fica visível. A torre suporta todas as outras partes no ar e necessita de ser estruturalmente resistente, de forma a ser capaz de suportar as cargas aplicadas quer por ação do vento, quer por ação do peso dos componentes.

⁴ Parque offshore – parque construído ao longo da costa marítima.



Figura 10 – Estrutura de uma torre eólica (Prandi 2012)

E é na produção de torres que este trabalho se vai focar, mais concretamente na produção de torres tubulares. Este não foi o conceito inicial, pois inicialmente eram utilizadas torres em treliça, ou seja, torres formadas por um elevado número de vigas metálicas unidas através de parafusos ou de soldadura. Estas últimas apresentavam as vantagens de poderem ser montadas no local (reduzindo os custos de transporte), serem mais facilmente desmontáveis e serem mais leves (Camacho e Silva 2013). Por outro lado (Tomé 2014), as torres tubulares apresentam:

- Um espaço fechado, que cria uma melhor proteção aos cabos elétricos e outros componentes face aos elementos como o sol, chuva e poeiras e melhora as condições de trabalho no seu interior;
- Acomodam mais facilmente equipamento destinado à subida da torre;
- Têm um aspeto mais limpo;
- Evita a criação de ninhos de aves;
- Como é desenhada e fabricada por um fabricante especializado, faz com que a sua produção seja confiável e viável, podendo ser assim produzida em série.

A torre tubular é constituída por chapa de aço que foi inicialmente calandrada⁵ e soldada, o que lhe permitiu adquirir a forma desejada. Para ser possível o seu transporte até ao local desejado a torre é dividida em tramos que são por sua vez virolas⁶ ligadas entre si através de ligações soldadas. Após terem chegado ao local final, esses tramos são ligados através de ligações aparafusadas entre as flanges que estão soldadas às virolas que se encontram nas extremidades dos tramos.

3.3 Organização da empresa e processo de produção de torres eólicas

A produção de uma torre eólica na TEGOPI passa por uma série de processos os quais estão divididos em várias zonas. Inicialmente existe a zona do corte e chanfragem. De seguida a chapa já trabalhada passa para a fábrica das virolas onde irá passar por uma série de processos que irão originar os tramos que são um conjunto de virolas. Nas extremidades de cada tramo são colocadas flanges que são utilizadas como ligação entre vários tramos. Por fim, e após terem

⁵ Calandragem - processo de formação de virolas (secção 3.3.2)

⁶ Virola – chapa enrolada após processo de calandragem

sido realizados os últimos acabamentos os tramos são levados para a zona de pintura e cura, onde também são depois montados os acessórios interiores.

Geralmente cada torre é constituída por 4 ou 5 tramos. Dependendo das suas características cada tramo deve possuir designações diferentes. Ao tramo superior é atribuído S1 enquanto que o inferior onde irá ser colocado o aro para a porta é o S4/S5. Os restantes tramos são S2, S3 e S4, dependendo se é uma torre de 4 ou 5 tramos. Uma torre com 4 tramos é constituída por aproximadamente 28 virolas.

Esta dissertação irá então explorar formas de melhorar as zonas onde a chapa é trabalhada e transformada em virolas, ou seja, a partir da parte da calandragem até desempenar e limpeza (fábrica das virolas) assim como a formação dos tramos (linhas de crescimento e acabamentos). No anexo C é possível ver o fluxograma com o fluxo produtivo.

3.3.1 Corte e Chanfragem

O corte é realizado através de uma máquina CNC (Máquina com comando numérico computadorizado), onde a chapa é cortada de acordo com as especificações necessárias, para garantir que fica com as dimensões de comprimento e largura pretendidas. Para chapas de espessuras mais finas o corte pode ser feito por plasma, enquanto que para espessuras mais grossas é feito por chama. Após cortada, a chapa irá ser chanfrada no posto seguinte, garantindo com isto que na soldadura das virolas para a formação de tramos se consiga garantir a penetração total na soldadura.

3.3.2 Calandragem

Depois de ter sido chanfrada a chapa necessita de adquirir a forma circular para formar a virola. A calandragem é um processo no qual é aplicada uma força externa sobre a matéria-prima, o que a faz adquirir a forma e as dimensões desejadas através de deformação plástica. Ao utilizar este processo é conseguido um bom aproveitamento da matéria-prima, uma rápida execução e uma possibilidade de melhoria e controlo das propriedades mecânicas do material (Pereira 2012)

A calandra é constituída por um conjunto de rolos ou cilindros, com movimento giratório e pressão regulável, os quais estão montados numa estrutura metálica. O material a ser curvado deve ser colocado entre os rolos que pressionam e giram através de conjuntos de engrenagens, garantindo assim que as velocidades e as pressões aplicadas sejam as desejadas (Pereira 2012).

Para trabalhar as chapas em questão é necessária uma calandra de quatro rolos com pinçagem dupla, como se pode ver na Figura 11. Este tipo de calandra é extremamente precisa, fácil e rápida de usar. Os rolos centrais são os rolos motorizados enquanto que os laterais se encontram livres de movimento e têm como principal função controlar o raio da calandragem (DAVI 2007). Quanto mais elevada for a força de calandragem mais curta é a parte reta da dobra inicial e maior é a espessura calandrada. Quanto maior o diâmetro do rolo

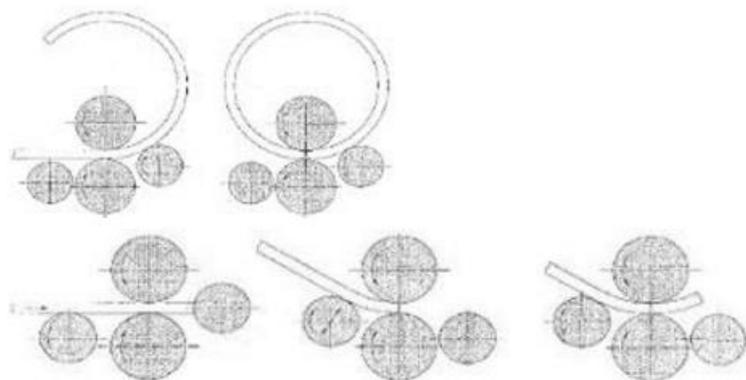


Figura 11 - Esquema de calandragem numa calandra de quatro rolos (Oliveira 2011)

maior a facilidade de criar diâmetros mais elevados para a virola. Uma vez que se trata de um processo de conformação plástica, a peça vai ser submetida a esforços (irá sofrer compressão em alguns pontos e tração noutros) que podem resultar em trincas (Ilustração no anexo O) (DAVI 2007) (Pereira 2012).

3.3.3 Soldadura Semiautomática

Após estar com o formato circular é necessário proceder à soldadura para a junção das duas extremidades. A soldadura usada neste caso é semiautomática (ou MIG-MAG) e é usada para criar um cordão de soldadura inicial (Figura 12).



Figura 12 – Esquema de soldadura semiautomática, a cinzento zona termicamente afetada

A soldadura MIG-MAG é um processo que utiliza o arco elétrico como meio energético para produzir a fusão do material de base e de adição e em que a corrente conduzida até à junta do material de adição desloca-se através de um fio (Figura 13). A fusão e a transferência do material de adição estão protegidas por um fluxo de gás que poderá ser inerte (MIG – Árgon ou Hélio) ou ativo (MAG – CO₂) e que é projetado a partir da tocha (Silva 2014).

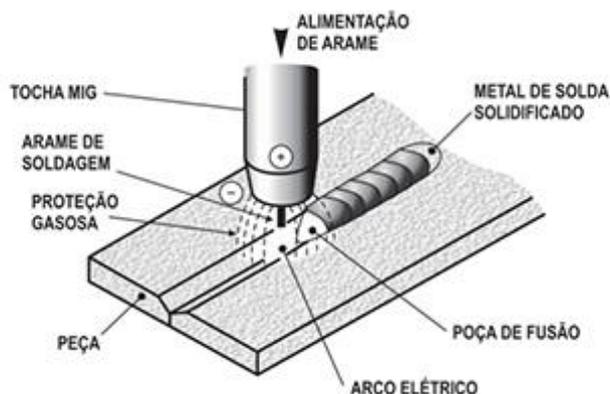


Figura 13 – Elementos de uma soldadura semiautomática (Silva 2014)

Como a tocha é manipulada pelo operador, o processo é considerado semiautomático e esta é a responsável pela alimentação automática do fio, pela transmissão da energia elétrica ao fio de metal de adição e pela alimentação e regulação do fluxo gasoso que irá proteger a soldadura. Este processo tem como vantagens a sua grande velocidade de soldadura, o seu fácil manuseamento, a ausência de escória a eliminar após a realização da soldadura, a sua possibilidade de utilização para cadências elevadas de produção, excelentes características mecânicas dos depósitos e os custos mais baixos (Silva 2014).

Tal como é possível visualizar na Figura 13 a realização deste tipo de cordões de soldadura necessita da utilização dos seguintes equipamentos (Silva 2014):

- Fonte de alimentação de corrente elétrica DC (Com um desenrolador de fio incorporado que por sua vez é constituído por motores, redutores, reguladores, roletes de alimentação e um núcleo com um sistema de travagem);
- Fonte de gás de proteção;
- Unidade de alimentação do fio de metal de adição;

- Tocha;
- Caixa de comando;
- Manorredutor e debitômetro

Para este tipo de utilização é usada a soldadura MAG pois neste caso o gás é ativo e é o indicado para aços ao carbono e de baixa liga.

3.3.4 SAW e Arc-air

Após efetuado o cordão de soldadura é necessário preencher o restante espaço para garantir a montagem definitiva da virola. Essa soldadura é realizada por arco submerso (SAW), que se assenta na fusão de materiais com base no aquecimento promovido pelo arco elétrico.

É um processo automático, onde o metal de adição é fornecido com a forma de fio e em que este funciona como elétron, ou seja, serve como portador de energia elétrica que é necessária ao arco elétrico (Figura 14). A ponta do fio de soldadura, o arco elétrico e a peça de trabalho são cobertos por uma camada de um material mineral granuloso conhecido por fluxo de soldadura (daí o nome arco submerso), o que garante que não haja arco visível, faíscas, ou fumos comuns em outros processos (Silva 2014).

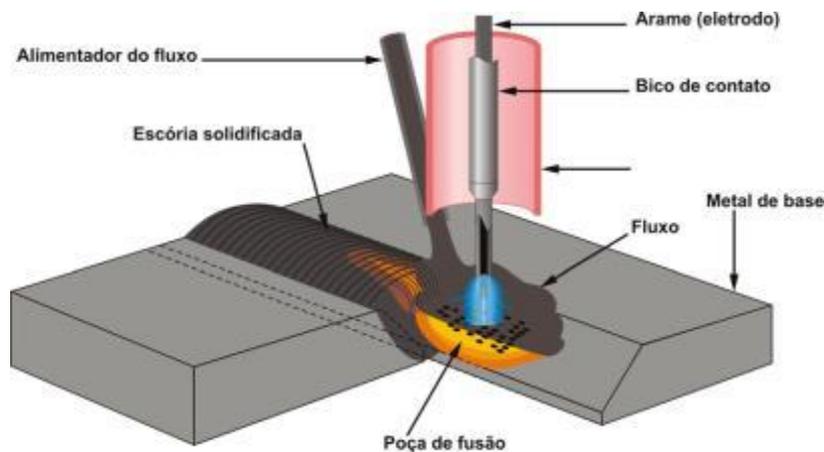


Figura 14 – Esquema de soldadura por arco submerso (Silva 2014)

Este processo caracteriza-se por possibilitar a obtenção de juntas de alta qualidade, com elevadas taxas de deposição. Com a utilização do arco submerso também garantimos que o material mantenha a boa ductilidade, homogeneidade e qualidade, sendo normal a obtenção de elevados valores de resiliência.

Os elementos de um equipamento de soldadura por arco submerso são (Silva 2014):

- Fonte de energia;
- Tocha de soldadura;
- Sistema de controle;
- Sistema motor de alimentação e guiamento do fio elétron;
- Sistema de alimentação, filtragem, armazenamento e recuperação do fluxo granuloso;
- Sistema de deslocamento da tocha de soldadura ao longo da junta;

- Sistema de auxílio ao guiamento para o movimento de translação do equipamento ao longo da junta.

Inicialmente este processo é utilizado na parte interior da virola preenchendo todo o espaço (Figura 15)



Figura 15 – Preenchimento por soldadura por arco submerso, a cinzento zona termicamente afetada

De seguida, dependendo da qualidade do cordão de soldadura realizado anteriormente podem ser realizadas duas opções. Se a soldadura semiautomática tiver sido realizada com boa qualidade procede-se imediatamente à soldadura da parte exterior como representado na Figura 16 (também por arco submerso).



Figura 16 – Preenchimento exterior, a cinzento zona termicamente afetada

Caso contrário terá de se recorrer ao processo de *arc-air* para remover o cordão anteriormente exposto. O *arc-air* consiste simplesmente na remoção do material (Figura 17) que foi colocado com o cordão de soldadura criando assim um orifício onde, novamente através da utilização de um cristo de soldadura⁷ irá ser realizado o arco-submerso (Figura 18).



Figura 17 - Esquema de remoção por *arc-air*, a cinzento zona termicamente afetada



Figura 18 – Esquema de soldadura por arco submerso da zona exterior, a cinzento zona termicamente afetada

3.3.5 Controlo Ultrassom (US)

Após estar realizada a soldadura é necessário verificar a sua qualidade para não possibilitar a propagação de falhas. Para isso é realizado um ensaio de ultrassom à junta soldada, através de um aparelho de medição de ondas, no qual se existir um defeito será possível observar através da imagem da onda de ultrassom refletida.

3.3.6 Desempeno e Limpeza

Depois da soldadura e o controlo efetuados é necessário voltar a dar à virola a concentricidade desejada. Para isso ela é colocada noutra calandra em que será novamente enrolada até verificar os requisitos de circularidade exigidos. Antes de se proceder a montagem ainda deve ser rebarbada na junta de soldadura, na superfície interior e na superfície exterior de forma a limpar qualquer tipo de impurezas acumuladas e a retificar a superfície. Para além da

⁷ Cristo de soldadura - aparelho que auxilia a realização da soldadura por arco submerso.

junta também são rebarbadas as superfícies laterais das virolas, na zona onde vão ser soldadas umas às outras.

3.3.7 Montagem das virolas

Este processo está dividido em várias fases. Inicialmente procede-se à pré-montagem das flanges sobre as virolas que vão ser colocadas nos extremos dos tramos. A flange é colocada sobre uma base, a qual vai servir de apoio à montagem, e é colocada a virola sobre a flange. De seguida é pingada (ou soldadura por pontos) de forma a assegurar a pré-montagem.

Passada esta primeira fase, é necessário proceder a montagem das virolas. Neste processo, duas virolas são colocadas lado a lado, e depois, sempre analisando o posicionamento e alinhamento, estas são pingadas circularmente ao longo do perímetro para permitir a pré-montagem. Posto isto segue-se a fase de soldadura das duas virolas, onde a sequência de tarefas é a mesma que já foi anteriormente descrita para a soldadura longitudinal das virolas, tal como representado na Figura 19:

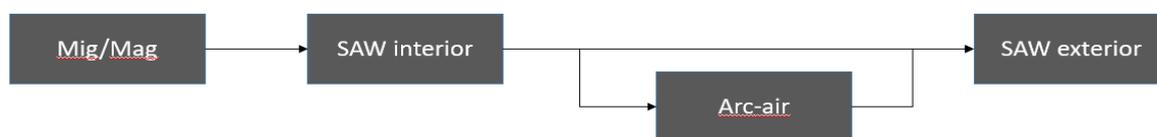


Figura 19 – Esquema de sequenciamento de produção

Posto isto, deve-se rebarbar novamente.

3.3.8 Montagem do aro da porta

Este processo só é efetuado nos tramos inferiores de cada torre (S1), pois é um aro de metal que irá servir de suporte para a fixação da porta que irá dar acesso à torre eólica.

Através da utilização de um maçarico é efetuado o corte da superfície, onde será colocado o aro e feita a respetiva pré-montagem. Após estar montado é necessário soldá-lo, garantindo assim a união permanente ao tramo. O processo de soldadura para os aros da porta é o arco submerso (tanto interior como exteriormente).

3.3.9 Correções e acabamentos

Tal como as virolas, também é preciso garantir a ligação das flanges com o tramo, processo no qual é novamente utilizada a soldadura por arco submerso.

De seguida é necessário garantir que os requisitos exigidos pelos clientes relativos às tolerâncias geométricos da planeza das flanges estejam garantidas, assim como das superfícies soldadas entre as virolas. Por isso, depois de terem sido efetuadas as medições da planeza das superfícies são realizadas as correções necessárias.

Depois disto é realizado um novo controlo US de forma a verificar se existe algum defeito.

Para ser possível a montagem de acessórios no interior da torre (escadas, cabos, etc) é preciso montar mecanismos de suporte, pinos neste caso, para estes acessórios. Estes pinos também são colocados através de soldadura. Por último é feito o controlo de qualidade visual dos tramos e os acabamentos necessários, para a torre seguir para a pintura.

4 Análise *As-Is* do processo produtivo

4.1 Fábrica das virolas

4.1.1 Layout

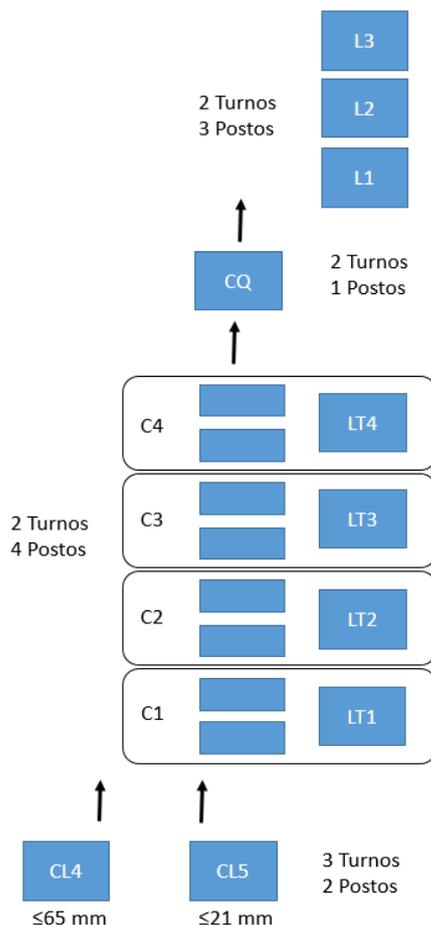


Figura 20 – Layout da fábrica das virolas

A fábrica das virolas (Figura 20) está organizada em 4 postos diferentes. Inicialmente a chapa entra na fábrica e irá ser calandrada no posto CL4 ou CL5. Se a chapa tiver um valor de espessura superior a 21mm e inferior a 65mm vai para a CL4, enquanto que se tiver um valor inferior ou igual a 21mm vai para a CL5. As chapas nas quais irão posteriormente ser colocadas as flanges vão para a CL4. Esta etapa funciona a 3 turnos pois vai ser também nestas calandras que se realiza o desempenho das virolas após a soldadura, transformando assim esta etapa no gargalo do processo de formação de virolas. O tempo que cada chapa demora a calandrar depende da sua espessura e do seu tamanho, enquanto que a desempenar depende do nível de ovalização adquirido ao longo dos processos de soldadura.

De seguida a chapa calandrada vai para a etapa 2, que está dividida em 4 células (LT1, LT2, LT3, LT4), cada uma delas com 2 postos. Um dos postos é onde o cristo está colocado para realizar a soldadura por arco submerso (4 cristos, 1 por cada célula) enquanto que o outro é onde se realiza as preparações para a soldadura SAW (*arc-air*, rebarbar). Esta etapa está a trabalhar a 2 turnos.

De seguida as virolas vão passar pela zona de controlo ultrassons (CQ) onde vai ser avaliada a existência de defeitos. Esta etapa e funciona a 2 turnos. Cada virola demora em média 0,25h a ser avaliada.

Posteriormente, as virolas têm de desempenar de forma a ganhar a concentricidade desejada. Para isso têm de passar o tempo necessário na respetiva calandra.

Por fim as virolas vão para a zona da limpeza onde vão ser rebarbadas nas zonas de soldadura e nas extremidades, de forma a ganharem a qualidade necessária para serem soldadas umas às outras. Este processo pode ser executado por 2 colaboradores simultaneamente. Todos

os valores de tempos descritos anteriormente foram obtidos através de informações da empresa e foram posteriormente medidos de forma a serem mais precisos.

No esquema seguinte está representado o *swimlane* da fábrica das virolas, o qual pode ser encontrado com melhor qualidade no anexo D:

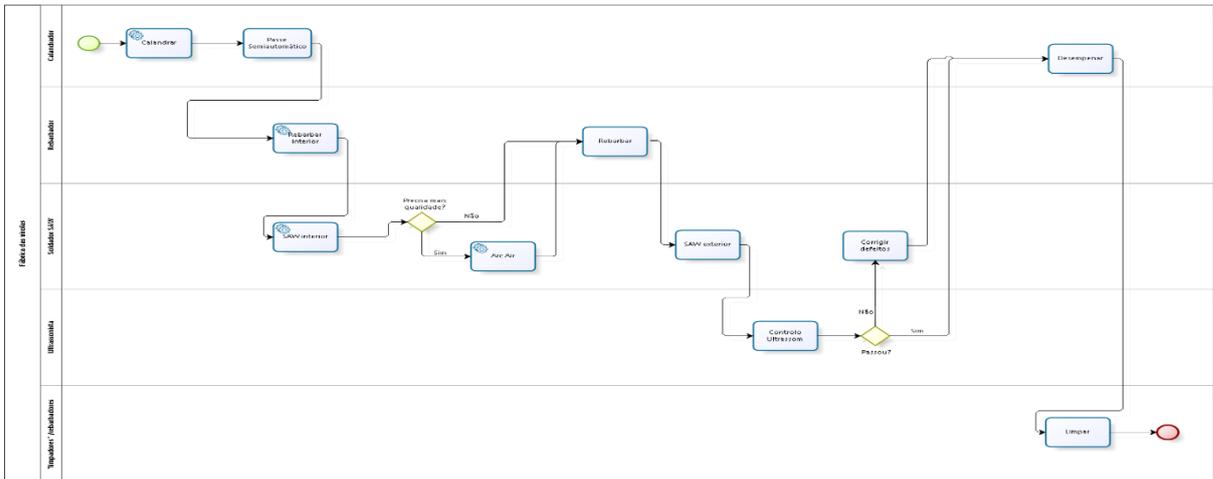


Figura 21 – *Swimlane* da fábrica das virolas

4.1.2 Identificação do problema e de fontes de desperdício

Numa primeira fase foi realizada uma análise visual a todo o processo da formação das virolas em simultâneo com o contacto com os colaboradores, de forma a conseguir perceber de imediato quais os principais problemas existentes. Foi um importante ponto de começo pois através disso foi logo possível começar a pensar em várias medidas de melhoramento. Desde logo foram analisados problemas como:

- A existência de vários buracos no chão, como exemplificado na Figura 22 , que poderiam levar a lesões nos colaboradores, assim como a causar problemas no deslocamento de alguns dos carros de transporte;



Figura 22 - Exemplos de locais com buracos no chão

- Desorganização dos equipamentos de trabalho, assim como das máscaras que são utilizadas pelos colaboradores no seu posto de trabalho;
- Por vezes era notória a falta de material em certos postos, tais como as máquinas de semiautomático e retificadoras (utilizadas para realizar o *arc-air*);

- Os carrinhos (porta paletes, carrinhos de mão, etc) que eram deixados no meio do caminho causavam problemas no deslocamento dos colaboradores, tal como se mostra na Figura 23.



Figura 23 – Carrinhos no meio do caminho

- Alguns materiais encontravam-se em mau estado (ex: mangueiras, tubos, adaptadores de encaixe).



Figura 24 - Mangueiras danificadas

- O WIP de virolas não era controlado, ficando por vezes uma virola vários dias a ocupar espaço na fábrica.

Esta análise foi feita ao longo de toda a realização do trabalho, pois eram constantemente encontradas novas formas de melhoria e de micro fontes de desperdício, que embora pareçam insignificantes numa primeira análise são um desperdício devido ao seu recorrente impedimento de realizar as tarefas da melhor forma, tornando importante que sejam eliminadas.

Outro problema encontrado na fase inicial da análise foi a incapacidade dos postos de soldadura longitudinal LT3 e LT4 realizarem a soldadura exterior das virolas de maior dimensão. Devido a essa incapacidade, por vezes certas virolas após serem soldadas interiormente e preparadas para a sua soldadura exterior tinham de ser movimentadas para os postos LT1 e LT2 para poderem ser acabadas. Isto causava um desperdício pois mantinha os colaboradores parados durante algum tempo, pois a virola só podia ser movimentada assim que um dos outros postos estivesse livre. Para além disso, o movimento das virolas novamente para trás não era nada vantajoso para o fluxo fluido de todo o processo.

Esta incapacidade dos postos LT3 e LT4 devia-se a dois fatores. O primeiro era que o chão da fábrica é levemente inclinado, fator esse no qual apenas com um grande investimento em obras seria possível contrariar. No entanto, o segundo fator já podia ser eliminado mais

facilmente. Ao contrário dos postos LT1 e LT2 em que o local onde as virolas eram depositadas estava imediatamente colocado no chão, estes estavam colocados sobre rodas, o que fazia com que as virolas estivessem sempre colocadas com uma altura superior em 100mm relativamente aos primeiros.



Figura 25 - a) posto LT1 com apoios inferiores; b) posto LT3 sem apoios inferiores

Tendo em conta que este é um posto fixo, ou seja, o que se movimenta aqui é o cristo de soldadura e não a posição da virola, não fazia sentido manter-se as rodas nos postos LT3 e LT4 (Figura 25 a)). Consequentemente essas rodas foram removidas (Figura 25 b)), o que garantiu um melhor fluxo do processo, pois graças a esses centímetros ganhos, todas as virolas já podiam ser totalmente trabalhadas nestes postos.

Por fim também foi detetada uma grande desorganização, como se pode constatar na Figura 26, na procura dos raios para utilizar como apoio à calandragem. Devido a essa desorganização o colaborador passava algum tempo à procura do raio certo a usar, sendo que por vezes nem o chegava a encontrar pois, devido à falta de controlo, não havia o conhecimento da inexistência de alguns raios de curvatura.



Figura 26 – Estrutura suporte aos raios utilizados como apoio à calandragem

4.1.3 Gestão do fluxo produtivo e plano de ações

Após a primeira análise onde foram identificados alguns dos principais microproblemas do fluxo produtivo foi feita uma análise mais geral ao processo produtivo das virolas. Foi verificado que o processo era pouco controlado, sabendo-se apenas o número de virolas que eram trabalhadas em cada processo por turno. Isto levava a um menor conhecimento do real decorrer do ciclo de trabalhos. Os principais problemas gerados eram:

- Os tempos de cada tarefa não eram controlados;
- As quantidades produzidas por turno não eram controladas;
- Falta de indicadores de resultados

Para acréscimo dos problemas já mencionados, ao existir esta falta de controlo tornava-se também complicado perceber exatamente qual era o real gargalo do processo, se a zona de calandragem ou a zona dos cristos de soldadura, pois tanto os colaboradores nos cristos se encontravam parados à espera para trabalhar, como se acumulava um grande conjunto de virolas prontas a serem soldadas. Assim tornava-se também muito complicado atingir um dos objetivos para a fábrica das virolas que era reduzir o WIP. Com base em todos estes problemas foi então realizado um plano de ações de forma a conseguir um maior controlo desta zona da fábrica.

Para atingir esse objetivo torna-se importante a realização de um VSM do fluxo produtivo da fábrica das virolas. Como é necessário entender as diferenças na forma como o processo estava organizado antes e depois das mudanças propostas o plano foi realizar dois VSM: um antes da implementação das novas ações de controlo e outro após a implementação e após a interpretação dos novos tempos das tarefas. Para além desta proposta também foi planeada a implementação de:

- Quadros de indicadores de resultados: extremamente úteis para, além de controlar melhor o processo, manter os colaboradores sempre a par do decorrer do seu trabalho;
- Um prémio de produtividade caso fossem atingidos os objetivos estabelecidos;
- Elaboração e exposição de *templates* de tempos por cada processo e por espessura de virola, para os colaboradores verificarem o tempo que o processo deve demorar;
- Cálculo de indicadores dos processos.

Também se pretende analisar qual o WIP existente na fábrica das virolas ao longo do processo para a nova encomenda de torres. Para além disso também foram propostas ações para a resolução dos desperdícios encontrados.

4.1.4 Medição dos tempos das tarefas

Para ser possível ter um objeto de comparação com as medidas implementadas foi necessário analisar os tempos existentes para todos os processos. No entanto o processo era muito pouco controlado, pelo que a única forma de obter dados para os tempos das tarefas foi através da análise de quantas virolas eram produzidas por turno. Para isso foi analisado o histórico dos últimos 9 meses de trabalhos para diferente projeto. É importante esta distinção entre projetos pois cada um é único, apresentando sempre um número de virolas diferentes, diferentes espessuras de chapa e diferentes números de tramos. Outra distinção importante a ser realizada era a nível da espessura das chapas a ser trabalhadas. Contudo, o histórico passado não possibilitava a realização dessa distinção, sendo ela apenas realizada na nova proposta de análise de tempos.

Foram então analisados os tempos (Tabela 1) dos processos para 7 projetos de torres diferentes, alguns deles realizados em mais do que uma altura.

Tabela 1 – Tempos relativos aos vários projetos realizados nos últimos 9 meses (tempos colocados em horas)

	N100R75	N90R80	N90R65	MM92 80	N100R80	N117R91	N100R100
Calandragem	2,06	2,02	2,29	1,95	2,34	2,20	2,58
Soldadura longitudinal - <i>Arc-Air</i>	0,41	0,03	0,03	0,28	0,44	0,28	1,00
Soldadura longitudinal - Arco Submerso	5,18	5,31	3,16	5,80	5,16	5,16	8,47
Soldadura longitudinal - Mig Mag	0,65	0,58	0,38	0,83	0,56	0,33	0,99
Soldadura longitudinal - Rebarbagem	0,35	0,05	0,06	0,18	0,00	0,00	0,11
Desempeno - Virolas	1,97	1,37	1,59	1,58	1,94	2,10	2,14
Limpeza virolas	4,42	3,51	3,71	0,00	3,69	3,80	3,97

Com isto concluímos que para além de estes serem resultados muito pouco precisos, pois não têm em conta todos os desperdícios existentes em trabalho que não acrescenta qualquer valor para a tarefa em si, também apresentam erros, sendo o mais notório as 0h que as várias torres do projeto MM92 80 passaram na limpeza. Esse valor é completamente impossível, pois todas as virolas têm de passar por esse processo para a superfície ganhar a qualidade necessária para prosseguir para a formação dos tramos. Também os valores de rebarbagem não são aceitáveis, assim como vários valores de *arc-air* que estão demasiado baixos em comparação com a análise visual efetuada (cronometrada). Por outro lado, os valores de calandragem, desempenho e principalmente de limpeza estão bastante acima do esperado (valores apresentados na secção 5.3.235

4.2 Linhas de Crescimento e acabamentos

4.2.1 Layout

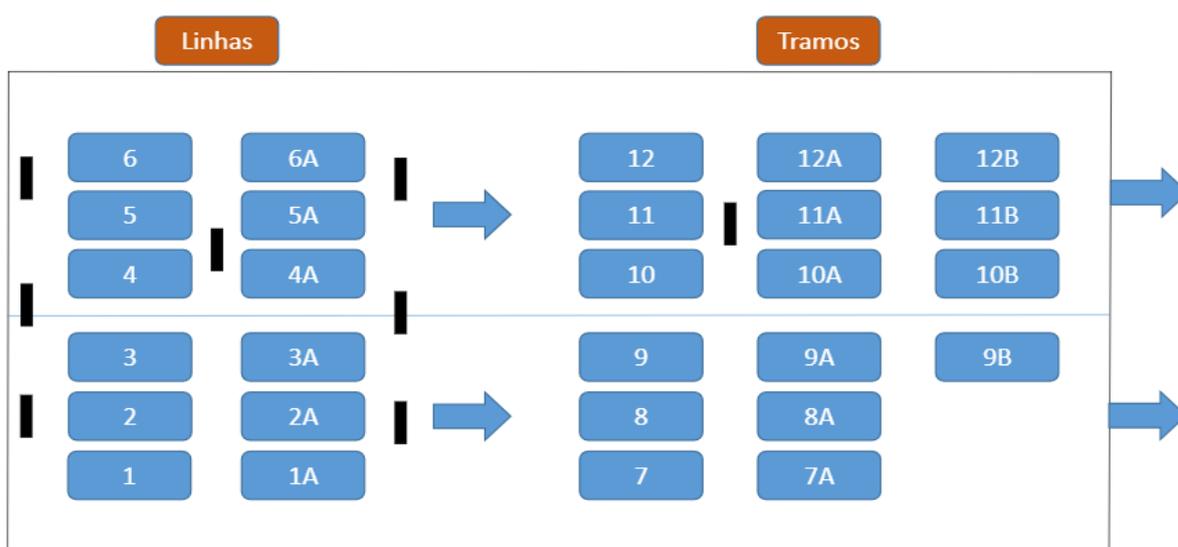


Figura 27 – Layout das Linhas de crescimento e acabamentos

A zona de formação dos tramos é possível ser realizada em 12 linhas diferentes. Nos postos de 1 a 6 o crescimento dos tramos ocorre da esquerda para a direita, enquanto que nos postos 1A a 6A a formação ocorre da direita para a esquerda. Isto acontece devido à posição dos cristos de soldadura, sendo assim a melhor forma para ser possível estar tudo em funcionamento ao mesmo tempo. Existem 3 cristos de soldadura de cada um dos lados, os quais se podem movimentar verticalmente, isto é, das linhas 1 à 6 (e 1A à 6A). Após a soldadura de todas as virolas, elas irão ser movimentadas para a fábrica dos tramos onde irão sofrer todos os acabamentos necessários, assim como a colocação dos pinos e a criação do aro da porta. De notar que nenhum tramo que esteja entre as linhas 1 e 3 pode ir para os postos 10 a 12 e vice-versa.

4.2.2 Identificação de problemas e das fontes de desperdício

Ao longo do estudo desta área da fábrica foi concluído que já existia um controlo elevado dos tempos de todos os processos produtivos. Contudo, após várias observações do fluxo produtivo e do decorrer das tarefas foram detetados três problemas principais:

- Na zona das linhas de crescimento a desorganização na realização das tarefas, quer por parte dos soldadores, quer por parte das equipas de apoio (equipas de rebarbadores e de montagem) era notória devido ao facto de que estes não tinham postos fixos onde realizarem o seu trabalho. Esta parte do processo era constituída por 6 equipas de soldadores, ou seja, um por cada cristo como se pode ver na Figura 27, 4 equipas de montagem e 2 equipas de rebarbadores. Estas equipas ocupavam os postos livres à possível execução do seu trabalho. Para facilitar a explicação de como estava organizado este processo foi feito um diagrama de *spaghetti* à movimentação dos colaboradores das linhas de crescimento, que se pode ver na Figura 28.

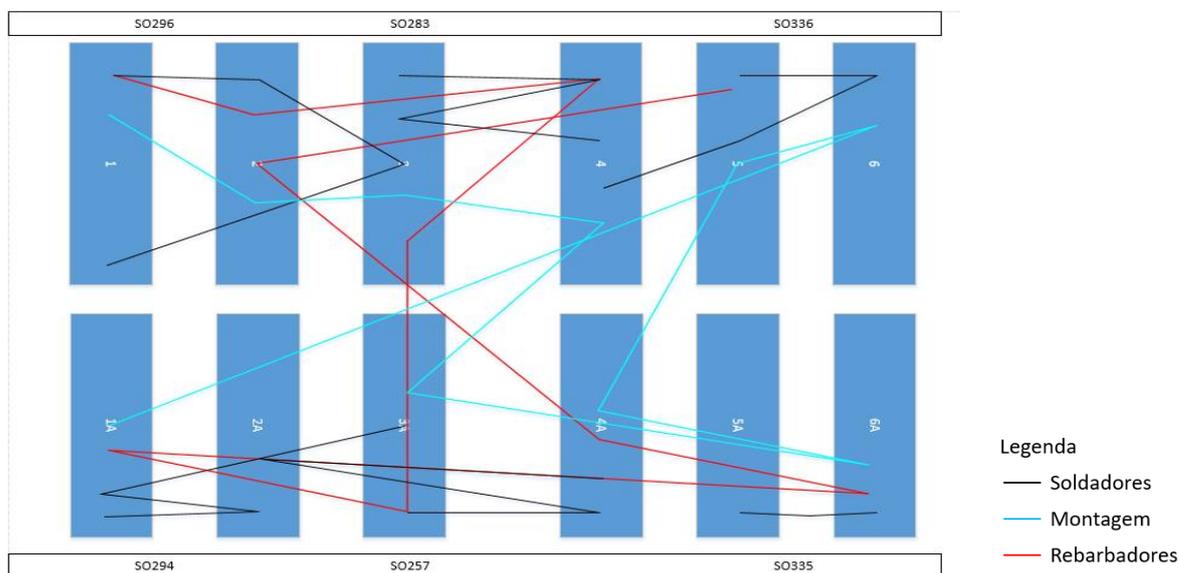


Figura 28 – Diagrama de *spaghetti* das Linhas de Crescimento

Como se pode ver, a deslocação das equipas de montagem e de rebarbadores geravam muitas confusões, sendo perdido tempo em todo o deslocamento necessário e em perceber onde deveria ser executado o próximo trabalho.

- Outro dos problemas também detetados nesta mesma zona da linha de crescimento foi a falta de material de adição para os cristos de soldadura. É outro aspeto importante pois o soldador perdia imenso tempo a ir ao armazém buscar todo o material necessário para o abastecimento do cristo de soldadura.

- O último problema detetado, já na zona dos acabamentos foi a elevada ocorrência de defeitos na posição dos pinos para colocar os interiores⁸ das torres, algo que também se pode dever à inexistência de um processo mais avançado do que o utilizado (o uso de linhas de giz para marcar a posição dos pinos). Para além disso a forma como estava organizado o controlo da posição dos pinos, ou seja, o processo de reparação em caso de deteção de defeito estava muito desorganizado, pelo que por vezes era perdido imenso tempo por não se ter a certeza a quem se deveria explicar o erro.

4.2.3 Gestão do fluxo produtivo e plano de ações

Apesar da existência de um controlo dos tempos de todos os processos das linhas de crescimento e dos acabamentos, ainda não existia um mapa exemplificativo do processo, pelo que o primeiro passo foi a realização do VSM. Posto isso foi definido um plano de ações a tomar, com o objetivo de eliminar, ou pelo menos tentar reduzir ao máximo todos os problemas anteriormente descritos. Esse plano passou por:

- Planeamento de definição e criação de equipas na zona das linhas de crescimento, com o intuito de eliminar todo o tempo despendido em deslocações desnecessárias;
- Criação de zonas onde fosse possível colocar o material necessário para o abastecimento dos cristos de soldadura;
- Definir plano detalhado do processo de acabamentos de forma a ter um maior controlo sobre o mesmo para ser possível verificar todas as possíveis causas de erros. Em conjunto com esse plano é criado um indicador de defeitos, tendo este um objetivo a ser cumprido ao fim de todas as semanas.

4.3 Elaboração do *Value Stream Mapping* e estudo do *lead time*

Considerando o layout e os processos apresentados anteriormente elaborou-se um VSM (apresentado na Figura 29) da situação atual do processo produtivo da fábrica das virolas. Este método teve como objetivo entender os principais fluxos de informação e de materiais existentes pelos diversos processos produtivos. Neste caso em particular é apresentado um VSM para o projeto N90R80.

Todos os tempos intermédios foram retirados com tempos medidos entre tarefas na fábrica das virolas.

O VSM pode ser encontrados no Anexo E, assim como os símbolos que foram usados na sua representação.

⁸ Material que vai ser montado no interior da torre. Ex: Escadas, cabos, divisórias, etc...

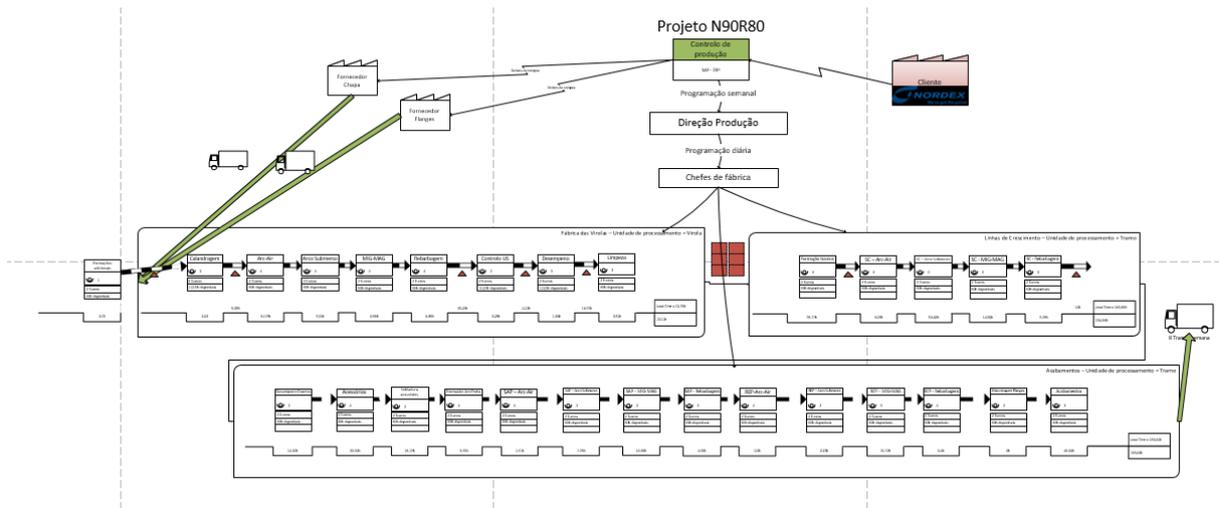


Figura 29 – VSM do processo de produção da torre

Estando completo o VSM é possível fazer um estudo do *lead time* desde a entrada na fábrica das virolas até à saída nos acabamentos. Na tabela seguinte estão apresentados os tempos de trabalho útil e não útil em cada fábrica. De realçar que as formações adicionais não entram neste cálculo pois é uma etapa anterior à fábrica das virolas.

Tabela 2 - Tempos retirados do VSM

Zona	Útil (h)	Não útil (h)
Fábrica das virolas	13,11	58,91
Linhas de Crescimento	154,86	14
Acabamentos	183,64	0
Total	351,51	72,91

Podemos então concluir que em média desde o início da fábrica das virolas até à saída da “torre em preto”⁹ o *lead time* total é de:

$$351,51 + 72,91 = 424,42h = 26,53 \text{ dias (a dois turnos)} \quad (1)$$

Sendo que o valor percentual de tempo desperdiçado, ou seja, tempo em que as virolas/tramos (dependendo da zona da fábrica) não estão a ser trabalhadas é de:

$$\frac{72,91}{351,51} * 100 = 21,7\% \quad (2)$$

É importante realçar que neste tempo não está presente o tempo de *setup* de cada tarefa, pois nas marcações dos tempos nas folhas de trabalho, esse tempo está indicado como tempo de trabalho.

⁹ Torre em preto – Nome técnico da torre na saída dos acabamentos, antes da pintura.

5 Definição do modelo *To-Be* e implementação

5.1 Definição e implementação de indicadores de desempenho

Tal como foi analisado anteriormente na secção 2.1.2 os indicadores de desempenho apresentam um papel fulcral na motivação dos colaboradores. Após se ter decidido que iam ser aplicados vários tipos distintos de indicadores nas diferentes secções da fábrica foi necessário escolher a metodologia a seguir para a sua implementação. Estabeleceu-se então um conjunto de passos, os quais estão apresentados de seguida na Figura 30:



Figura 30 – Esquema de implementação dos indicadores de resultados

1. Análise dos processos: Estudo de todos os registos anteriores de forma a criar uma base de dados com os valores atingidos por semana em determinado processo;
2. Definição dos objetivos a atingir tendo por base o estudo realizado anteriormente e todas as melhorias efetuadas após os dados analisados;
3. Informar as chefias de como funciona esta avaliação, auxiliando-as no preenchimento do quadro e informando também dos prémios caso esses objetivos sejam cumpridos;
4. Preenchimento do quadro de indicadores ao longo de toda a semana de trabalho;
5. Analisar se o quadro de indicadores está a trazer melhorias significativas ao empenho dos colaboradores.

Foram criados vários quadros diferentes de indicadores de resultados:

- O primeiro referente à fábrica das virolas, onde era necessário preencher o número de virolas calandradas, soldadas, desempenadas, controladas e limpas em cada turno de trabalho. É colocado um objetivo semanal, no entanto, esse objetivo é flexível, podendo compensar numa semana o que ficou em atraso noutra, desde que o objetivo do mês seja cumprido. Esta flexibilidade é necessária devido ao facto que as virolas são calandradas e desempenadas nas mesmas calandras e para garantir um bom fluxo do material por vezes era necessário calandrar mais do que desempenar em determinada semana (ou vice-versa) (Exemplo do quadro no Anexo F).
- Na fábrica das linhas e dos tramos foi colocado um indicador onde era colocado o número de tramos que saía das linhas de crescimento e dos acabamentos por semana. Novamente é garantida uma flexibilidade aos trabalhadores, podendo retirar menos

tramos que o objetivo duma semana, desde que no final do mês o objetivo mensal seja cumprido (Exemplo do quadro no Anexo G).

- De seguida foi colocado um indicador com o qual se pretendia melhorar a eficiência e a rapidez do processo da fábrica das linhas. Tal como já foi referido o plano de ação nesta zona da fábrica consistia na criação de equipas, e, neste quadro, cada uma das equipas era avaliada de acordo com a eficiência do seu trabalho (tendo em conta os tempos standard), com o número de circulares soldadas e com o número de circulares arqueadas. Este quadro está explicado com melhor detalhe no Anexo H.
- Por último foi colocado um quadro que apresentava o número de defeituosas em cada um dos processos que exigia a reparação dos mesmos (número de pinos com defeitos, número de reparações à soldadura necessárias). Também para estes indicadores foram definidos objetivos mínimos com base no histórico recente da empresa (Estudo apresentado no Anexo I)

Após terem sido definidos os objetivos a serem atingidos também têm de ser definidas as vantagens que o sucesso pode vir a trazer aos colaboradores. Foi então definido um prémio de 7% de acréscimo ao salário mensal em caso de ser atingido o desempenho pretendido. Em acréscimo a esse prémio foram definidos mais dois prémios: um de 7% acréscimo ao salário base em apelo ao bom comportamento, isto é, cumprimentos de todas as regras estipuladas e a capacidade de um espírito de entreajuda com os colegas de trabalho, e outro de 6% de acréscimo ao salário base em caso de assiduidade e pontualidade perfeita.

5.2 Fábrica das virolas

5.2.1 Implementações de melhorias para resolução de problemas

Após a análise visual mencionada na secção 4.1.2 foram implementadas de imediato as primeiras alterações 5S, como a colocação de novas mangueiras em vários locais e a melhoria do chão da fábrica.

Para além de ser possível um melhor deslocamento ao longo de todo o terreno da fábrica, ter um chão em boas condições, tal como se apresenta na Figura 31, também é importante para a existência de condições de segurança para todos.



Figura 31 – Buracos tapados e mangueiras novas

Continuando as implementações 5S, para combater a falta de material em alguns dos postos de trabalho, foram requisitadas máquinas para cada um, e para garantir uma melhor organização das mesmas, foram feitas etiquetas (ver Figura 32 a)) para se colocar em cada uma, contribuindo para que cada máquina se mantenha no posto correto (ver Figura 32 b))



Figura 32 a) etiquetas para posicionar nos equipamentos; b) etiquetas colocadas na máquina

Tendo em conta a desorganização existente na escolha dos raios para controlar o processo de calandragem das virolas, procedeu-se à análise em detalhe de todos os raios existentes para verificar se havia falhas nesse aspeto. Acabou por se tornar um processo um pouco demorado pois os raios estavam distribuídos aleatoriamente pela estrutura.

Após serem recolhidos todos os raios foi criada uma base de dados onde se se dividiu os raios por tamanhos de secção (de 100 em 100mm) (Base de dados disponível no Anexo J). Acabado esse processo verificou-se que havia escassez em raios importantes para os projetos mais próximos, nomeadamente o raio 3975 e 3982, pois iriam ser muito utilizados. Foi de imediato solicitada a realização dos mesmos.

Estando verificado o número de raios por secção procedeu-se à criação de etiquetas (apresentadas na Figura 33 a)) para uma melhor organização e distribuição dos raios na estrutura na qual estão colocados (ver Figura 33 b)).



Figura 33 – a) etiquetas indicadoras dos raios; b) etiquetas colocadas na estrutura de suporte dos raios

No entanto, após realizada esta tarefa, foi verificada uma grande degradação na estrutura, estando com apoios em ambas as pontas para não cair e com muito poucos suportes em condições ideais para os raios. Foi proposta a produção de uma nova estrutura na qual foi realizado o seguinte projeto, tal como se pode ver na Figura 34:

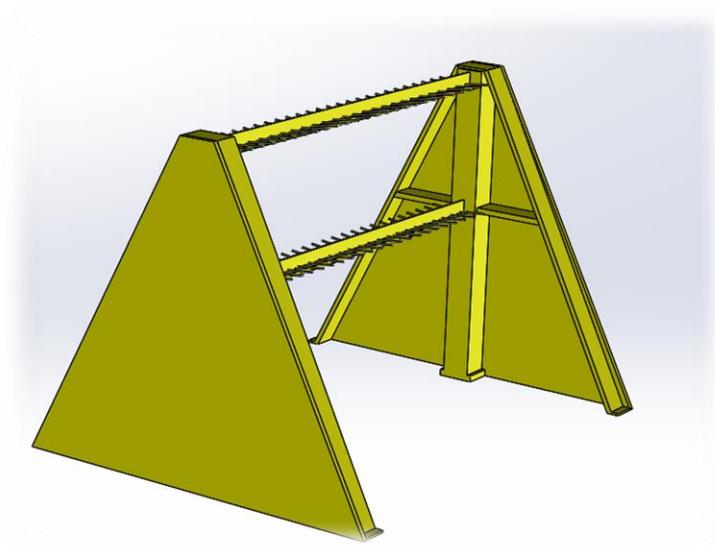


Figura 34 - Desenho em *SolidWorks*® da estrutura para suporte dos raios

O desenho de definição da estrutura pode ser encontrado no Anexo K.

5.2.2 Método de controlo do WIP

O controlo do WIP na fábrica das virolas é outro aspeto difícil de manter. O WIP ideal seria ter todos os postos ocupados e a fábrica funcionar sem *buffers*. Mas claro que isso não é possível, pois para além dos tempos de todas as tarefas não permitirem esse feito, também existem os contratempos normais do funcionamento de uma fábrica, como os tempos de *setup*, de movimentação e mesmo avarias de algumas máquinas. Sendo assim, é necessário ter *buffers* de segurança entre os vários processos, para tentar manter sempre o máximo das máquinas em funcionamento. Ao longo de várias semanas foi analisado o WIP existente em cada dia na fábrica das virolas.

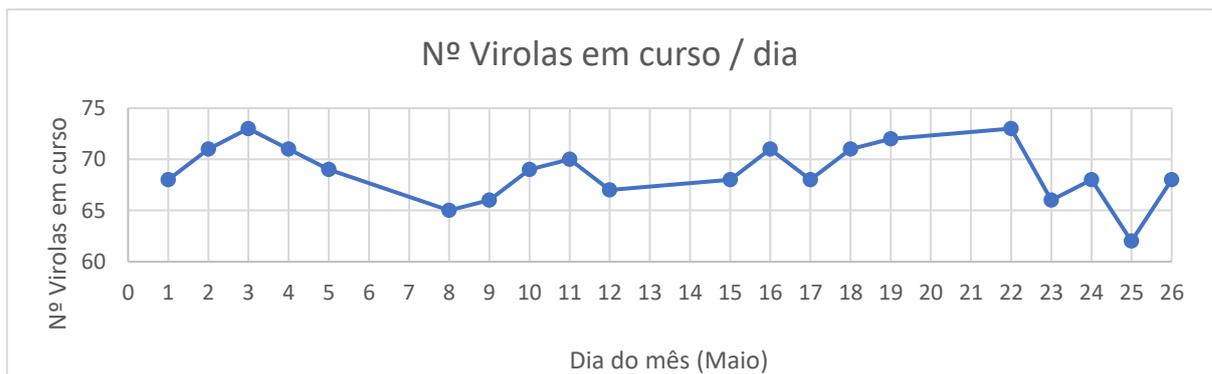


Gráfico 1 – Variação do WIP ao longo do mês de maio

Como se pode ver no Gráfico 1 o número de virolas rondava o valor de 70 ao longo de todo o mês. No entanto o controlo do WIP e a imposição de um limite é importante para melhorar o fluxo na fábrica das virolas. Mesmo que isso cause a paragem de alguns postos de trabalho por algumas horas, é importante que esse teto seja respeitado, de forma a controlar o fluxo. Com esta aplicação irá ser possível posteriormente ver novas oportunidades de melhoria, conseguindo assim um melhor fluxo do que o atual. Foi definido um máximo de virolas em curso de 68. Caso este valor seja atingido não deve ser iniciado o trabalho de mais nenhuma virola até uma virola entrar na linha de crescimentos de tramos.

Como se pode ver na Figura 35 (completo no Anexo L) também foi criado um *template* para ser colocado na fábrica, onde se pode ver o planeamento para as semanas seguintes, fazendo com que haja uma fácil capacidade visual de quais as virolas necessárias a ser formadas, reduzindo-se assim o *WIP*, e atingindo uma consequente melhoria do fluxo.



Figura 35 – *Template* de controlo de *WIP* (representação apenas para as linhas 1, 2 e 3)

5.2.3 Análise do *takt time* e dos tempos e métodos dos processos produtivos

Takt time é “o máximo intervalo de tempo entre a conclusão de unidades consecutivas dum dado produto e é definido como o quociente entre o tempo de produção disponível e a procura do cliente por um determinado produto” (Modrák 2014). Neste caso é o tempo máximo que cada processo deve demorar a realizar a operação conseguindo satisfazer o objetivo semanal do número de virolas. Posto isto, é importante balancear os postos de trabalho para que o tempo de ciclo destes seja igual ou se não for possível, inferior ao *takt time*.

Na Tabela 3 estão apresentados os *takt times* dos processos da fábrica das virolas tendo como objetivo a realização de 60 virolas semanais.

Tabela 3 – Cálculo do *takt time* [horas] dos processos da fábrica das virolas

	Calandragem	Soldadura	Desempeno	Limpeza	Controlo US
Tempo total semanal	112,5	320	112,5	240	320
Nº postos	2	4	2	3	4
Turnos	3	2	3	2	3
Objetivo	60	60	60	60	60
Takt time	1,875	5,33	1,875	4	5,33

Para este cálculo foi necessário ter em conta o número de postos, onde temos o problema que a calandragem e o desempenho são feitos nos mesmos postos, logo o tempo máximo disponível para a realização dessas duas tarefas é o mais crítico, ou seja, como já tinha verificado anteriormente, é aqui que se encontra o gargalo do processo na fábrica das virolas.

Com a existência dos novos quadros de indicadores de resultados foi possível verificar o tempo que cada tarefa estava a demorar a ser realizado com o intuito de comparar estes novos tempos com os tempos existentes no histórico. Para isso foram tidos em conta todos os dias de trabalho do novo projeto N90R80 e chegou-se aos seguintes tempos para cada tarefa:

Tabela 4 – Tempos dos processos da fábrica das virolas

	Calandragem	Soldadura	Desempeno	Limpeza
<i>Tempos (h)</i>	1,89	4,85	1,83	2,71
<i>(takt time) (h)</i>	1,875	5,33	1,875	4

Após a análise destes tempos verificamos que o único que não se encontra abaixo do *takt time* é o posto de calandragem. No entanto, como já foi referido anteriormente o posto de calandragem e desempenho pode ser considerado como um só. Sendo assim:

$$\text{takt time total} = 1,875 + 1,875 = 3,75h \quad (3)$$

$$\text{tempo atual} = 1,89 + 1,83 = 3,72h \quad (4)$$

Podemos então afirmar que os tempos máximos exigidos para o cumprimento dos objetivos estão a ser cumpridos, no entanto, o facto de alguns dos tempos estarem muito abaixo do valor do *takt time* também é considerado outro tipo de desperdício.

5.2.4 Definição de *standards (To-Be)* de trabalho para cada tarefa e posto de trabalho ao longo do processo produtivo

O primeiro passo a ser efetuado foi a definição de tempos *standard* máximos para cada uma das tarefas ao longo do processo produtivo da fábrica das virolas. Para serem determinados esses tempos foi tido em conta o histórico anterior da empresa, mas, para além disso, foram medidos vários tempos com vista a ser verificada a validade desses tempos existentes. Foram detetados uns pequenos desvios, principalmente no processo de limpeza, os quais se devem à forma como eram efetuadas as medidas pela empresa. Anteriormente esses tempos eram definidos através da produção diária nessa zona da fábrica. Ora, como a parte da limpeza é a última da fábrica das virolas, esta está dependente de todo o desenrolar do processo anterior. Logo, como o fluxo que sai do desempenho das virolas é baixo (pois neste posto são calandradas e desempenadas virolas) a zona da limpeza não vai ter problemas em cumprir os requisitos de tempo a que está sujeita. Daí, os tempos *standard* existentes devem-se a isso e ao facto de haver 3 postos de limpeza, o que torna esta zona da fábrica uma zona em que raramente há o problema de deixar o posto seguinte à espera por estar sobrelotada de trabalho.

Na Tabela 5 estão apresentados os tempos *standard* definidos para a fábrica das virolas.

Tabela 5 – Tempos standard definidos¹⁰

Operação	Elementos Trabalho		Operação Manual
	Descrição da tarefa		Tempo máximo (h)
Calandra	Calandragem	15 a 30 mm	1,5
		> 30 mm	1,85
Soldadura	Passe-semi (Mig-Mag)		0,5
	Rebarbar interior		0,5
	Soldadura interior	16 a 23 mm	1
		24 a 33 mm	1,5
		34 a 43 mm	3
		44 a 53 mm	2,5
		54 a 63 mm	2,5
	Arc-air		
	Rebarbar exterior		0,5
	Soldadura exterior	< 15mm	0,75
15 a 43 mm		1	
> 43 mm		2	
Desempeno	Desempeno	10 a 30mm	1,5
		> 30mm	1,85
Controlo US	Controlo UT		
Limpeza	Limpeza	10 a 33 mm	1
		34 a 43 mm	1,5
		> 43 mm	2,5

Tal como se pode ver o tempo máximo *standard* para a limpeza é de 2,5h para as virolas de maior espessura, e tanto o *takt time* (4h) como os tempos definidos anteriormente (2,71h) são superiores aos verificados.

Quantos aos restantes tempos também há que ter em conta o processo de soldadura. Para este processo, dependendo das espessuras da chapa¹¹, os tempos *standard* estão definidos na Tabela 6:

Tabela 6 – Tempos de produção dependendo da espessura da chapa[mm]

Espessuras	Tempos totais produção (h)	Tempos soldadura (h)
< 15	7,25	2,75
16 a 23	7,5	3,5
24 a 33	8	4
34 a 43	10,7	5,5
44 a 53	12,2	6
54 a 63	12,2	6

Sendo que,

$$t_{\text{soldadura}} = t_{\text{passe semi}} + t_{\text{rebarbar interior}} + t_{\text{soldadura interior}} + t_{\text{arc-air}} + t_{\text{rebarbar exterior}} + t_{\text{soldadura exterior}} \quad (5)$$

¹⁰ Todos os tempos abaixo do primeiro referido fazem parte do primeiro intervalo. Por exemplo, uma chapa de 12mm de espessura demora 1,5h a ser calandrada 1h na soldadura interior.

¹¹ Tempo *standard* de soldadura para chapas de 34 a 43 mm é superior a tempo de soldadura para chapas com espessura superior a 43mm devido ao chanfro existente em cada uma delas. Como nas chapas de espessura mais grossa o chanfro pode ser em V, é mais fácil a deposição de material pelo que o tempo de soldadura pode ser um pouco menor.

Pelo que se pode ver na Tabela 6 os tempos de soldadura para chapas a partir de espessuras superiores a 34mm são superiores ao *takt time* exigido (5,33h). No entanto há que ter em conta que para grande parte, senão todos os projetos, a maior parte das chapas têm espessuras inferiores a 30mm. Analisemos como exemplo o processo atual, aquando a monitorização e análise de todos os resultados. Este projeto (Projeto 1161 - N90R80) representa torres com 4 tramos e um total de 27 virolas. Na Tabela 7 está presente o número de virolas para cada um dos grupos de espessuras. (O desenho deste projeto pode ser encontrado no anexo M).

Tabela 7 – Nº virolas por espessura do projeto 1161

Espessuras (mm)	Nº virolas
0 a 15	10
16 a 23	9
24 a 33	4
34 a 43	4
44 a 53	0

Tendo isto em conta e fazendo o cálculo do valor médio do tempo de soldadura considerando as espessuras temos,

$$t_{soldadura\ 1161} = \frac{2,75 * 10 + 3,5 * 9 + 4 * 4 + 5,5 * 4}{27} = 3,6h \quad (6)$$

Como se pode ver, o tempo médio teórico/*standard* encontra-se abaixo do *takt time*, o que embora seja um desperdício, torna possível a realização do projeto a tempo. Os tempos *standard* são então definidos, podendo-se encontrar no Anexo N a descrição do processo, assim como as instruções de trabalho para cada posto.

5.3 Linhas de crescimento e acabamentos

5.3.1 Implementação das ações propostas para resolução de problemas

Para o problema do elevado número de defeitos na zona de acabamentos, foi utilizada a metodologia do *poka-yoke* de modo a tentar garantir uma redução em grande escala desse número. Para tal, procedeu-se aos seguintes passos:

- Perceber a origem da falha e em que fase do processo de acabamentos ela está mais presente;
- Verificar as causas para a falta de organização;
- Planear o novo modelo de melhoria e de análise dos erros;
- Verificar a eficácia da solução proposta.

Foi criado então um modelo de melhoria (Figura 36) que de seguida foi transmitido às chefias e aos restantes colaboradores, com uma sequência de tarefas bem definida, na qual era efetuado um controlo mais apertado desta fase do processo ao longo do seu fluxo de trabalho.

Com este novo modelo, era esperado que os erros nos pinos fossem detetados mais cedo, de forma a poderem ser corrigidos antes das torres serem entregues para a pintura.

Esse modelo pode ser consultado com melhor detalhe no Anexo O.

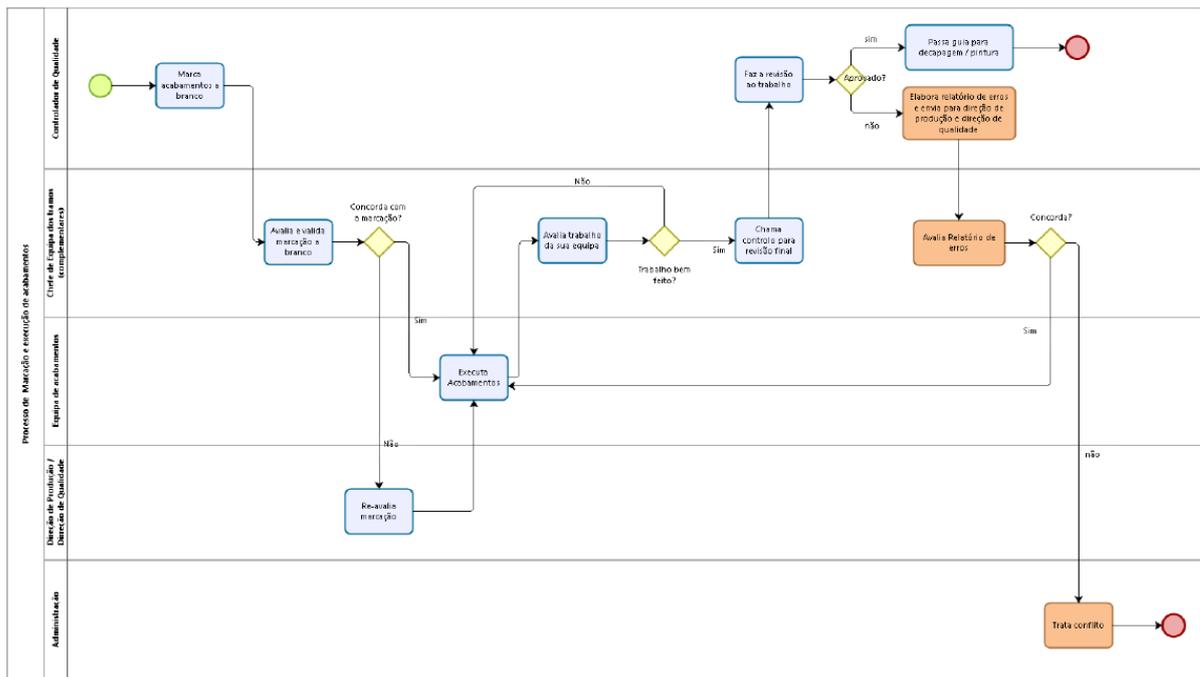


Figura 36 – Modelo de melhoria dos acabamentos

No que diz respeito ao processo de alimentação dos cristos de soldadura observou-se que quando era necessário fazer o seu reabastecimento de bobinas o soldador tinha de sair do seu posto de trabalho e recolher os itens de que necessitava, tendo por vezes de esperar bastante tempo no armazém. Este tipo de situação causa um aumento de variabilidade no processo e ao mesmo tempo é uma grande fonte de desperdício. Assim definiram-se (1, 2, 3, 4, 5 e 6 da Figura 37) locais onde iria estar todo o material necessário para abastecimento dos cristos, como pode ser visto no *layout* presente na Figura 37.

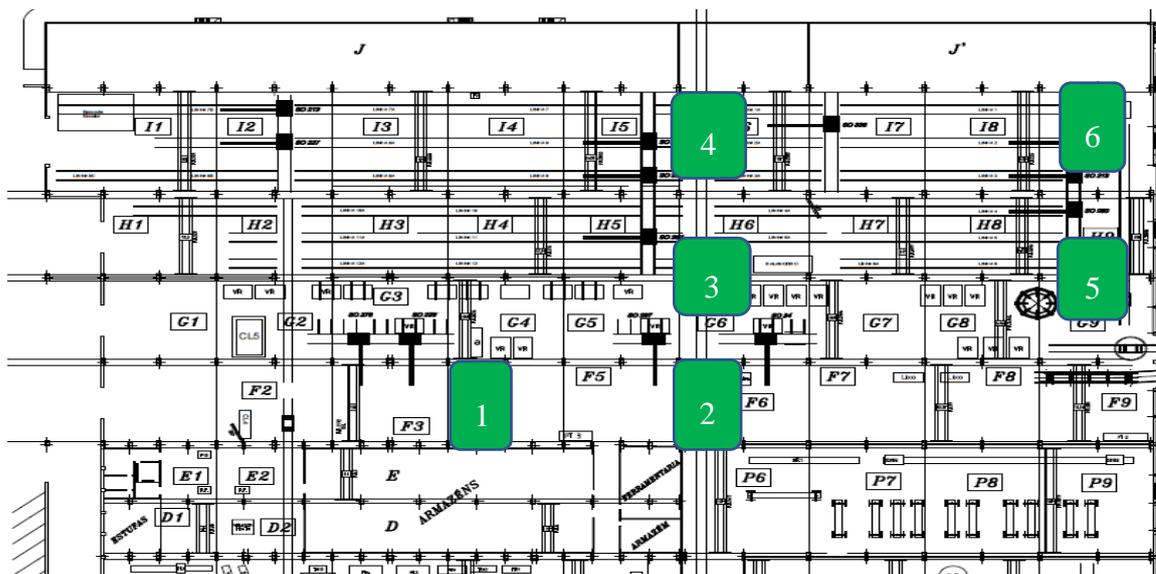


Figura 37 - *Layout* da fábrica com posição dos postos de alimentação dos cristos de soldadura

Após estarem escolhidos esses locais (Figura 38) foram definidas as quantidades de material presente em cada um:

- 6 bobinas de fio *Air Liquide* 4mm de 100kg
- 2 bobinas fio Mig-Mag
- 10 Sacos de Fluxo *Air Liquide*

Estas verificaram-se como quantidades suficientes para um dia de trabalho em todos os postos. No fim do último turno, todos os dias, um colaborador passa por cada um dos postos e coloca lá material de modo a ficar o que foi definido para cada um.



Figura 38 – Exemplo de novo local de deposição de material para alimentação dos cristos

5.3.2 Definição de *standards (To-Be)* de trabalho para cada tarefa e posto de trabalho ao longo do processo produtivo

Tendo em conta os problemas enumerados devido à desorganização existente nas linhas de crescimento dos tramos, procedeu-se então à criação de equipas e células de produção, com o intuito de diminuir todo o trajeto efetuado pelos colaboradores e de eliminar os tempos de espera devido a espaços ocupados. Começou-se então por redefinir as equipas. Inicialmente tinha-se 6 equipas para os cristos de soldadura (1 elemento), 4 para montagem (2 elementos) de tramos e 2 de rebarbadores (1 elementos), isto por turno. Com a proposta de mudança passou-se a ter 6 equipas, cada uma constituída por:

- 1 elemento no cristo de soldadura
- 2 elementos de apoio, com funções de rebarbador, soldador MAG e serralheiro¹²

Isto fez com que fosse necessária a formação de alguns colaboradores, pois para esta estratégia resultar era necessária uma grande versatilidade dos mesmos, de forma a conseguirem desempenhar várias tarefas diferentes. Na Figura 39 está representado o diagrama de *spaghetti*

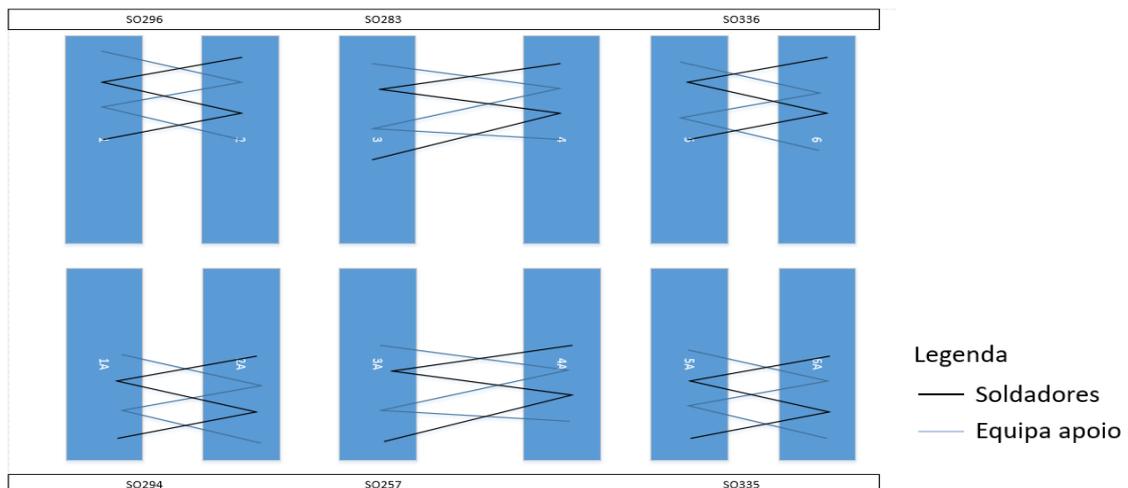


Figura 39 - Diagrama de *spaghetti* para a nova implementação de equipas

¹² Colaborador responsável pela montagem da virola

com esta nova implementação, onde está representada a movimentação de cada uma das equipas (soldadores e de apoio).

Com a criação de equipas nas linhas de crescimento foi também necessário criar *standards* de trabalho para esses mesmos postos de forma a aplicar esta nova metodologia. Como para esta zona da fábrica todos os tempos *standard* por tarefa e por espessura de chapa já estão bem definidos, essa parte não foi alterada. No entanto verificou-se que era possível tirar um melhor proveito da organização do crescimento dos tramos nas linhas. Ou seja, foi necessário fazer um estudo de forma a conseguir perceber qual seria a melhor combinação de tramos em cada célula, tentando minimizar os tempos em que o cristo estaria parado (em comparação com os tempos de montagem) e os tempos de produção, tendo sempre em conta o crescimento simultâneo de dois tramos. Isto é possível, pois como se pode verificar no diagrama de *spaghetti* da Figura 39, enquanto uma virola está a ser montada, o cristo está a soldar na outra posição da célula e vice-versa.

Para tal, inicialmente (novamente para o projeto 1161) foram organizados os tempos em que o cristo estaria parado para cada combinação de tramos e os tempos totais que demoraria a sua produção (tempos teóricos, tendo em conta os tempos *standard* definidos, expostos na Tabela 8).

Tabela 8 – Tempos de paragem do cristo e totais de produção tendo em conta a combinação de tramos

Combinação	Tempos Paragem Cristo (h)	Tempos Totais (h)
S1 + S1	32,5	207
S1 + S2	35,5	193,5
S1+ S3	27	217
S1 + S4	40	254
S2 + S2	20,5	180
S2 + S3	25,5	203,5
S2 + S4	51,5	240
S3 + S3	20,5	227
S3 + S4	45,5	264
S4 + S4	16	301

Tendo sido definidos todos os tempos procedeu-se à realização de várias iterações através de uma simulação heurística¹³, para ser possível analisar quais seriam as melhores combinações¹⁴. Para tal também foi necessário implementar as seguintes restrições:

- $3 \leq n^{\circ}S1 \leq 4$
- $2 \leq n^{\circ}S2 \leq 3$
- $2 \leq n^{\circ}S3 \leq 3$
- $4 \leq n^{\circ}S4 \leq 5$
- N° postos = 12

O número de tramos foi assim definido tendo em conta os tempos totais de produção de cada um deles. Como o S1 e S4 são os mais demorados, é necessário ter mais em simultâneo nas linhas de crescimento. Posto isso, e após a realização das iterações, os resultados obtidos podem ser consultados na Tabela 9.

¹³ Solução heurística - solução que deriva de uma análise prescritiva, mas sem a garantia de ser a solução ótima exata.

¹⁴ Este estudo foi realizado, pois embora nos tempos de produção o gargalo não pareça ser os cristos de soldadura, ao juntarmos aos tempos de produção todo o tempo de *setup*, alimentação e movimentação dos cristos estes já são o gargalo das Linhas de Crescimento.

Tabela 9 – Representação dos resultados das iterações

	Iterações									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Linha 1	s1	s1	s1	s1	s2	s1	s1	s1	s1	s1
Linha 2	s3	s1	s3	s2	s2	s4	s2	s1	s1	s3
Linha 3	s1	s1	s1	s3	s3	s1	s1	s1	s1	s1
Linha 4	s4	s2	s4	s3	s3	s4	s2	s2	s3	s3
Linha 5	s2	s2	s1	s2	s1	s2	s3	s3	s2	s2
Linha 6	s3	s3	s2	s2	s3	s3	s3	s3	s2	s2
Linha 1A	s1	s3	s2	s1	s1	s1	s1	s1	s3	s1
Linha 2A	s3	s3	s3	s4	s4	s4	s4	s4	s3	s3
Linha 3A	s4	s4	s2	s1	s1	s4	s4	s4	s4	s4
Linha 4A	s4	s4	s4	s4	s4	s4	s4	s4	s4	s4
Linha 5A	s2	s4	s4	s4	s4	s2	s2	s2	s4	s4
Linha 6A	s4	s4	s4	s4	s4	s3	s4	s4	s4	s4
Tempo Cristo Parado (h)	187	146	195,5	172,5	164	187	199	196	132,5	133,5
Tempo Total (h)	1432,5	1433	1409	1409,5	1433	1470	1409	1422,5	1433	1433
% Cristo Parado	13,1%	10,2%	13,9%	12,2%	11,4%	12,7%	14,1%	13,8%	9,2%	9,3%

Como se pode ver na Tabela 9 as iterações 9 e 10 apresentam as melhores percentagens de utilização dos cristos. No entanto demoram mais horas a ser concluídas. Como tal as iterações 3, 4 e 7 são as ideais a ser implementadas pois apresentam menores tempos totais de produção. De entre essas três hipóteses, e considerando que os tempos totais entre as 3 são suficientemente semelhantes, a iteração 4 apresenta-se como a mais eficaz pois é a que verifica uma melhor utilização do cristo. Na Figura 40 está apresentado um esquema com o exemplo da iteração 4.

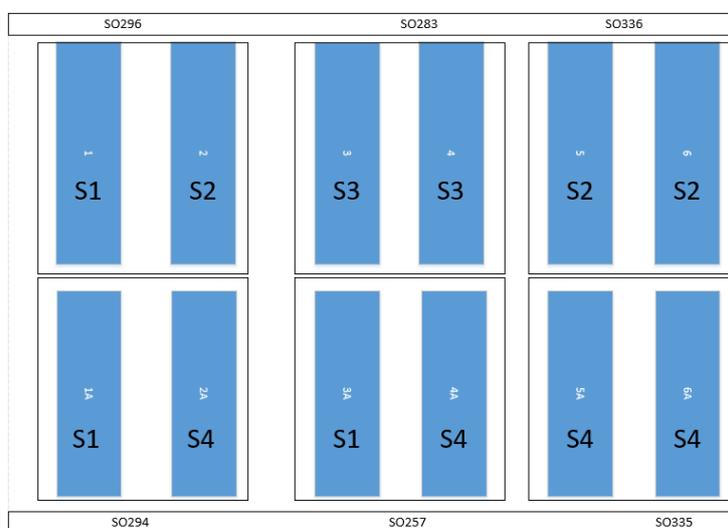


Figura 40 – Esquema iteração 4

5.4 Implementação de Auditoria 5S

O cumprimento de todas as regras implementadas é de extrema importância para o sucesso da sua aplicação. Tendo isso em conta, e com o intuito de elas serem cumpridas e de serem propostas novas regras e metodologias para o bom funcionamento do processo produtivo, foi criado um método de avaliação/auditoria 5S (Figura 41).

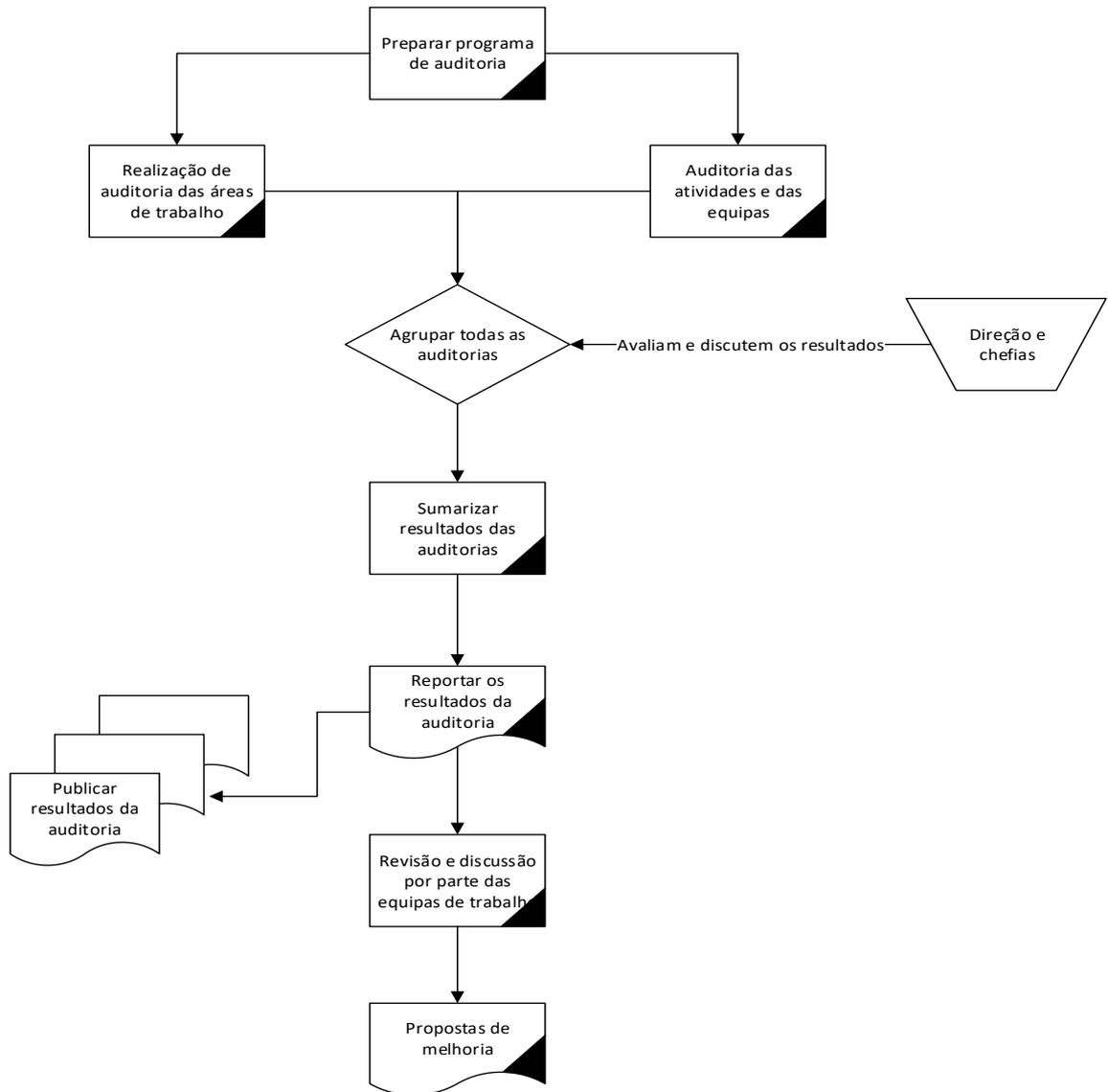


Figura 41 - Diagrama de aplicação das Auditorias 5S

Esta auditoria consiste em verificar se todas as regras existentes em cada um dos parâmetros da organização 5S estão a ser cumpridas. Para isso, foi criada uma lista de verificação das mesmas, na qual a cada uma delas tem de ser atribuída uma pontuação de forma a conseguir uma avaliação correta de cada uma das equipas. Também a essas equipas são pedidas propostas de melhoria para um melhor funcionamento dos seus locais de trabalho.

A lista de verificação (Tabela 10) pode ser analisada com melhor detalhe no Anexo P.

Tabela 10 – Lista de verificação 5S

Lista de Verificação dos 5S							
Equipa:		Nota anterior:	Auditoria nº:				
		Média atual:	Data:				
		Nota:	Responsável:				
5S's	Assunto a ser auditado	Descrição para o auditor	Pontuação				
			NA	0	1	3	5
1º S - Utilização	1.1 Materiais e Equipamentos	Todo o material, equipamentos espalhados pelos postos de trabalho são necessários					
	1.2 Documentos	Todos os documentos (desenhos e procedimentos) encontram-se atualizados e devidamente preenchidos					
	1.3 Ferramentas	Ferramentas usadas regularmente e com as calibrações atualizadas					
	1.4 Controlo Visual	Todas as ferramentas e equipamentos devidamente identificadas					
	1.5 Desperdícios	Mangueiras que vazam ar, torneiras a pingar e outros excessos desnecessários					
2º S - Organização	2.1 Locais de armazenagem	Ferramentas colocadas sempre nos locais indicados no fim da sua utilização					
	2.2 Documentos armazenados	Documentos organizados e prontamente recuperáveis					
	2.3 Locais de deposição de lixo	Locais para deposição de lixos claramente identificados					
	2.4 Layout	Minimização dos movimentos dos colaboradores e da ocupação de espaço					
	2.5 Produtos "perigosos" identificados	Produtos perigosos devidamente identificados					
3º S - Limpeza	3.1 Posto de trabalho	Posto de trabalho em condições ideais para o turno seguinte					
	3.2 Zona de resíduos	Zona de resíduos utilizada corretamente					
	3.3 Zona de movimentação	Locais de transporte de cargas e de movimentação do pessoal nas condições necessárias					
	3.4 Máquinas	Máquinas limpas e nas condições ideais					
	3.5 Atividades habituais	Varrer e deixar material pessoal de trabalho devidamente organizado					
4º S - Saúde	4.1 Uso correto dos EPI	Uso adequado às tarefas exercidas					
	4.2 Área de trabalho	Área de trabalho é segura e adequada					
	4.3 Práticos de atos inseguros	Cuidado em não praticar qualquer ato que seja considerado inseguro					
	4.4 Mapa de risco	Mapa atualizado de todas as áreas, assim como de materiais de segurança (Ex. Extintores)					
5º S - Disciplina	5.1 Realização de manutenções	Existências de manutenções de forma a manter as condições necessárias do posto de trabalho					
	5.2 Uso correto do cartão	Uso correto do cartão de presença e cumprimento de horários					
	5.3 Cumprimento dos regulamentos	Cumprimento de todas as regras					
	5.4 Seguintos	Realização de auditorias com frequência					
	5.5 Autonomia de ideias	Capacidade de sugestão de novas ideias para aplicação 5S's					

No entanto é necessário manter a realização regular de auditorias, de forma a ser possível continuar com a mudança de mentalidades pois só isso permitirá que as melhorias 5S implementadas se mantenham e garantam melhores resultados (através do reforço da disciplina). Caso contrário, existirá o risco de que as melhorias conseguidas se percam revertendo-se para o estado anterior.

Para tal foram também definidas as equipas/postos de avaliação à monitorização, que se deveriam reunir sempre que fosse realizada uma auditoria, com vista a discutir os resultados. Esses intervenientes são expostos de seguida:

- Responsável da Produção, Qualidade e Segurança;
- Chefes de fábrica (de cada turno);
- Responsável da equipa (se se justificar a sua presença, por exemplo, caso os resultados de uma equipa estejam muito acima/abaixo do esperado).

Após algum debate conclui-se que o período ideal para serem realizadas estas auditorias seria de 2 em 2 meses, pois assim existe tempo suficiente para serem implementadas e aperfeiçoadas as melhorias propostas, conseguindo assim uma boa análise dos resultados da sua implementação.

6 Conclusão

6.1 Monitorização e Resultados

Tendo em conta a metodologia relativa à implementação dos *standards* que foi descrita na secção 5. irão ser apresentados os resultados obtidos após monitorização.

Esta monitorização cobriu essencialmente dois aspetos: os tempos totais de produção das torres, inclusive um estudo dos tempos parciais (por cada subdivisão da fábrica), e a evolução do número de reparações necessárias após a implementação das ações. É de realçar que estes resultados apenas mostram a melhoria dos tempos no projeto 1161, pois foi sempre este que esteve em produção ao longo do estudo. Para uma melhor interpretação destes resultados foram avaliados os tempos antigos de torres nos quais o projeto da torre era igual.

Na tabela seguinte está apresentada a evolução dos tempos das torres de todos os projetos cujas torres eram iguais às do 1161.

Tabela 11 – Tempos totais de produção e média móvel desses tempos [h]. (*Dados TEGOPI*)

Projeto	Torre	Tempo produção (h)	Média Móvel (h)	Evolução Melhorias ¹⁵
1030	Torre 404	2237,8		
	Torre 405	2028	2132,85	-5%
	Torre 406	1915	2060,1	-3%
	Torre 407	2154	2083,55	1%
	Torre 408	2093	2047,35	-2%
	Torre 409	2061	2055,675	0%
1044	Torre 416	1913	2055,35	0%
1054	Torre 424	1853	1980,175	-4%
	Torre 425	1751	1894,75	-4%
	Torre 426	1860	1844,5	-3%
	Torre 427	2027	1872,8	2%
	Torre 428	1762	1850,075	-1%
1161	Torre 474	1913,9	1890,725	2%
	Torre 475	1640,1	1835,7	-3%
	Torre 476	1587,9	1726,05	-6%
	Torre 477	1642,3	1696,05	-2%
	Torre 478	1898,9	1692,3	0%
	Torre 479	1697,2	1706,575	1%
	Torre 480	1807,8	1761,55	3%
	Torre 481	1731,5	1783,85	1%
	Torre 482	1556,3	1698,2	-5%
	Torre 483	1728,9	1706,125	0%

Para evitar uma má interpretação dos resultados devido a um desvio em algum tempo, foi também realizada uma média móvel a 4 tempos, de forma a ter um resultado mais capaz de não ser afetado por esse tipo de situações.

¹⁵ Evolução de melhorias, sempre em comparação com o imediatamente anterior.

A título de exemplo, de maneira a esclarecer o cálculo da média móvel, o valor 2083,55h foi calculado da seguinte forma:

$$\frac{2237,8 + 2028 + 1915 + 2154}{4} \quad (7)$$

Todos os valores seguintes são também a média dos 4 tempos de produção anterior. Para os primeiros casos apenas é usada a média dos valores existentes.

Tendo em conta os resultados apresentados na tabela foram efetuados os seguintes gráficos de evolução dos tempos:

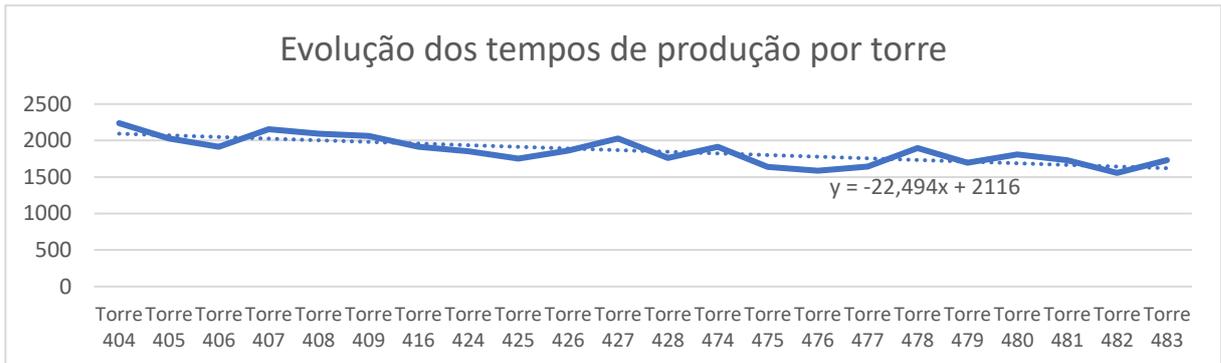


Gráfico 2 – Evolução dos tempos de produção por torre do Projeto 1161

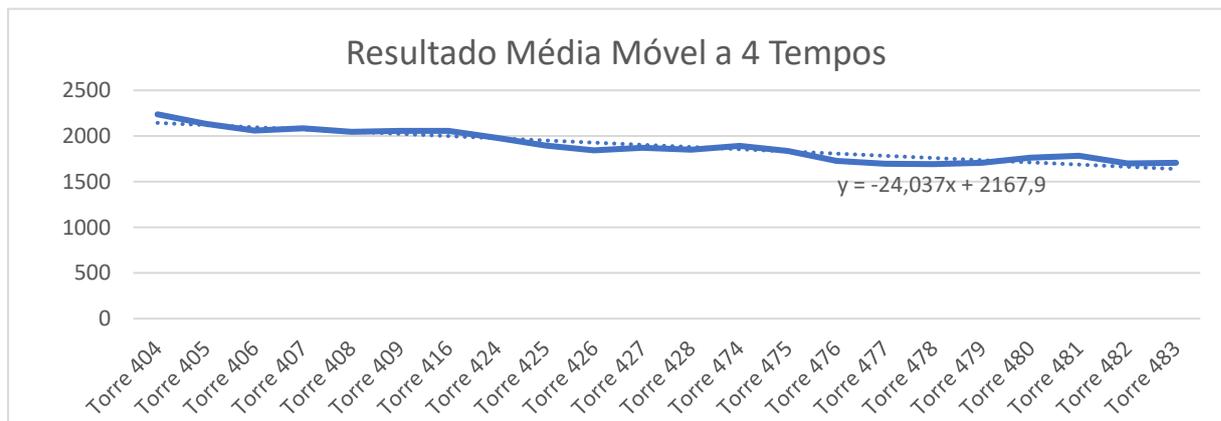


Gráfico 3 – Resultado após cálculo da Média Móvel dos quatro últimos tempos

Como se pode visualizar ao comparar ambas as situações, não houve nenhum desvio significativo, o que nos permite concluir que não houve problemas de maior na produção das torres deste projeto. Com base nos tempos de produção individual das torres e das médias móveis foram calculadas as respetivas melhorias:

Tabela 12- Valor percentual das melhorias globais

Melhoria global – Tempos de produção	-18,3%
Melhoria – Tempos adquiridos pelas Médias Móveis	-18,1%

A título de exemplo é apresentado o cálculo efetuado para as melhorias globais,

$$\frac{(1697,2 + 1807,8 + 1731,5 + 1556,3 + 1728,9)}{5} - \frac{2238 + 2028 + 1915 + 2154}{5} = 18,3\%$$

$$\frac{2238 + 2028 + 1915 + 2154 + 2093}{5} \quad (8)$$

Após o cálculo do valor percentual de melhorias, podemos concluir que as implementações efetuadas estão a dar resultados, havendo reduções dos tempos de produção na ordem dos 18%. Também podemos concluir que não existem desvios significativos, como se pode constatar pela semelhança dos dois valores percentuais.

Com a intenção de analisar em que locais da fábrica as melhorias implementadas estavam a dar os melhores resultados, foi analisada a evolução dos tempos de produção em cada uma das diferentes zonas.

Tabela 13 – Dados relativos aos tempos de produção (h) em cada zona da fábrica (*Dados TEGOPI*)¹⁶

Projeto	Torre	Fábrica das virolas	Média Móvel	Linhas de Crescimento	Média Móvel	Acabamentos	Média Móvel
1030	Torre 404	541,7		828,9		828,3	
	Torre 405	282	411,85	925,3	877,1	758,5	793,4
	Torre 406	335,8	386,5	793,6	849,2666667	777,5	788,1
	Torre 407	407,5	391,75	770,3	829,525	916,9	820,3
	Torre 408	355,5	345,2	901,4	847,65	820,6	818,375
	Torre 409	333,4	358,05	850,5	828,95	824,9	834,975
1044	Torre 416	353,5	362,475	873,8	849	678,2	810,15
1054	Torre 424	359,5	350,475	843,5	867,3	638,9	740,65
	Torre 425	406,3	363,175	812,2	845	463,3	651,325
	Torre 426	313,7	358,25	908,8	859,575	622,2	600,65
	Torre 427	359,7	359,8	902,3	866,7	687,8	603,05
	Torre 428	394,8	368,625	733,8	839,275	620,4	598,425
1161	Torre 474	401,8	367,5	749,2	823,525	762,9	673,325
	Torre 475	357,6	378,475	696,2	770,375	562,3	658,35
	Torre 476	369,4	380,9	689,3	717,125	516,1	615,425
	Torre 477	363,9	373,175	738,4	718,275	492	583,325
	Torre 478	393,1	371	732,5	714,1	760	582,6
	Torre 479	351,1	369,375	664,1	706,075	623	597,775
	Torre 480	326,2	358,575	764	724,75	710,8	646,45
	Torre 481	275,9	336,575	758,3	729,725	680,7	693,625
	Torre 482	287,7	310,225	682,1	717,125	586,6	650,275
	Torre 483	345	308,7	867,8	768,05	499,5	619,4
	% Melhorias		-11%		-14%		-21%

Como se pode ver na Tabela 13, todas as zonas sofreram algumas melhorias. No entanto, as que mais contribuíram para a melhoria dos tempos totais foram as linhas de crescimento e os acabamentos, pois foram nessas zonas da fábrica que ocorreram as maiores reduções de tempo. O uso dos indicadores de resultados e o prémio de produtividade parecem ter tido uma grande influência nestes resultados, pois desde que foram implementados, os objetivos não foram cumpridos apenas numa das semanas. Na zona dos acabamentos, o novo método de organização “poke yoke”, utilizado para conseguir diminuir o mais possível o número de erros, parece ter criado um maior entendimento entre todos os intervenientes, garantindo assim, que o tempo perdido em verificações desnecessárias foi reduzido.

Como o tempo de verificação ficou mais pequeno, um dos perigos desta implementação foi a possível saída dos tramos da zona de acabamentos com um número mais elevado de erros na posição dos pinos. Assim, foram pedidos os relatórios de erros de pinos da empresa responsável pela pintura e colocação de interiores nas torres, de forma a verificar se o número de erros teria aumentado.

¹⁶ Valores percentuais de melhorias calculados da mesma forma que foi apresentado na equação 8.

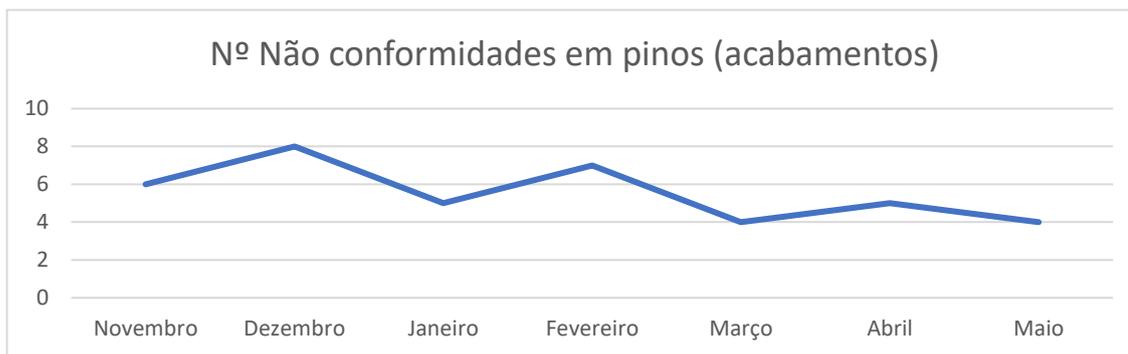


Gráfico 4 – Nº Não conformidades em pinos (*Dados Empresa Pintura e Acabamentos*)

Como se pode ver no Gráfico 4, o número de linhas de erros recebidas da empresa responsável pela pintura e colocação de interiores nas torres manteve-se estável, tendo mesmo diminuído após implementação deste novo modelo (meio de abril). Deste modo, podemos concluir que este modelo melhorou a produtividade da zona de acabamentos.

Quanto à fábrica das virolas, tal como esperado, foi a zona onde as melhorias menos se notaram, pois esta já era a zona da fábrica que apresentava um valor reduzido de tempo com valor acrescentado. No entanto, a implementação dos quadros de indicadores e de metodologias 5S, mostraram-se eficazes melhorando ainda em 11% o tempo que uma virola passa na fábrica das virolas. Parte destas melhorias também se devem à melhor utilização das máquinas necessárias. Quanto às linhas de crescimento, o facto de existir o equipamento necessário em todos os postos em conjunto com o novo modelo de distribuição dos tramos, torna possível promover o valor percentual do tempo de utilização do cristo (gargalo nesta zona da fábrica), o que aliado à criação das equipas garantiu o melhoramento necessário para responder às melhorias existentes na fábrica das virolas e na zona dos acabamentos.

Com esta nova sequência de processos e com tempos de produção bem definidos também se tinha como objetivo a redução do número de virolas e circulares¹⁷ que teriam de passar por reparações. Foi então analisado também o relatório de controlo de qualidade fornecido pela secção de qualidade da TEGOPI.

Ano	Semana	Ext.Insp.	Ext.N.C.	%
2017	2	115,927	990	0.85
2017	3	139,880	4,590	3.28
2017	4	146,383	3,190	2.18
2017	5	150,394	770	0.51
2017	6	199,302	745	0.37
2017	7	163,552	1,235	0.76
2017	8	173,969	6,485	3.73
2017	9	147,625	3,375	2.29
2017	10	128,524	2,840	2.21
2017	11	90,409	605	0.67
2017	12	30,795	985	3.20
2017	13	58,154	2,225	3.83
2017	14	106,380	6,571	6.18
2017	15	108,414	2,192	2.02
2017	16	98,730	2,165	2.19
Total		1,969,133	42,918	2.18

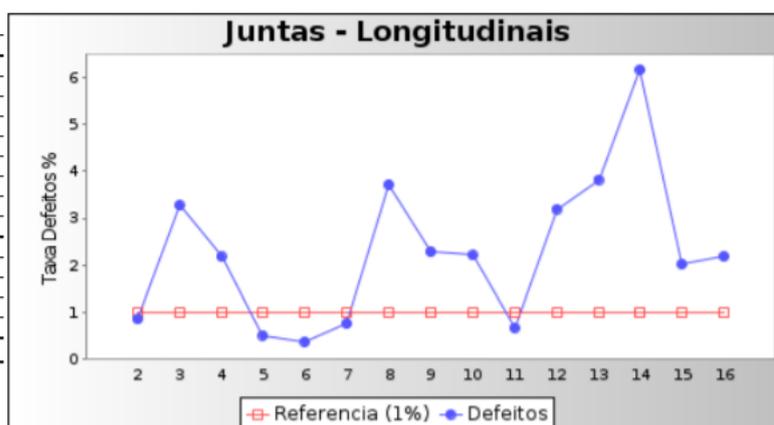


Gráfico 5 – Resultados do controlo de Qualidade da soldadura SAW nas longitudinais das virolas

¹⁷ Zona de junção de duas virolas.

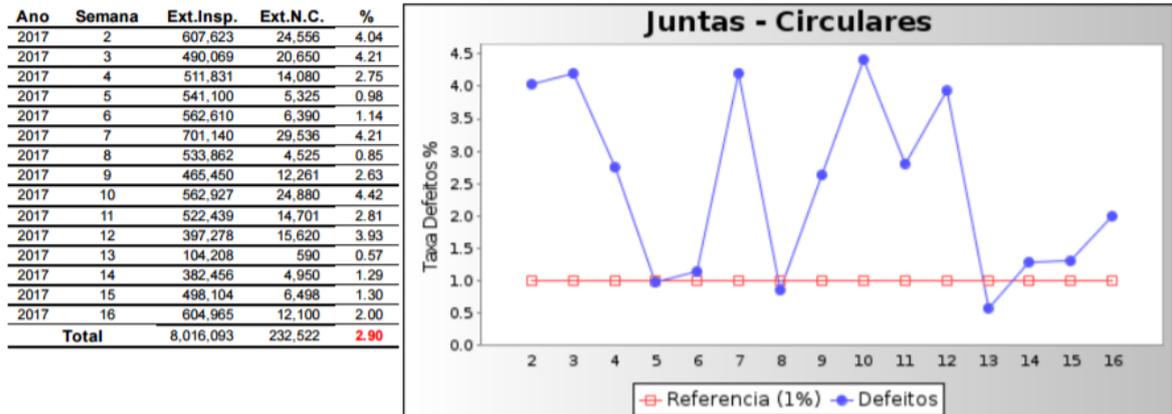


Gráfico 6 - Resultados do controlo de Qualidade da soldadura SAW nas circulares

Nas juntas longitudinais (Gráfico 5) podemos ver um aumento do valor percentual da taxa de defeitos. Isto deve-se sobretudo ao facto de se ter tentado minimizar a utilização de *arc-air*. Como é uma operação demorada e que nem sempre acrescenta utilidade ao processo, esta etapa está a começar a ser eliminada. No entanto, o *arc-air* evitava a existência de algumas imperfeições na soldadura, daí a taxa de erros nas longitudinais ter aumentado um pouco¹⁸.

Quanto à soldadura das circulares (entre virolas) (Gráfico 6), nota-se uma redução nas últimas semanas que se pode dever sobretudo à nova organização da zona por equipas e por combinação do tramo, estando assim o soldador com o tempo necessário para realizar a soldadura com menos imperfeições. De realçar que a implementação nesta zona da fábrica da eliminação do *arc-air* ocorreu na semana 9, o que também explica o aumento da taxa de defeitos entre as semanas 9 e 12.

6.2 Conclusão

Com o estudo bibliográfico foi possível entender que existem muitas metodologias de melhoria aplicáveis no ramo industrial. A implementação de metodologias *lean* vai além de apenas reduzir os *stocks* e implementar a lógica dos sistemas *pull*. Trata-se de uma filosofia de produção que tem como objetivos a eliminação de desperdícios em todos os processos das empresas, com o intuito de realizar apenas o que realmente dá valor ao produto. E foi com a intenção de atingir esses principais objetivos que esta dissertação foi realizada.

Inicialmente a fábrica das virolas encontrava-se sem a normalização necessária, o que fez com que fosse um dos focos principais deste trabalho. Isto levava a que houvesse bastantes problemas na sequência de operações de trabalho, o que tornava difícil a localização das virolas que eram precisas e criava atrasos desnecessários. Esta implementação teve alguns contratempos, devido à grande dificuldade em mudar comportamentos adquiridos durante anos, nos quais o importante era estar sempre com os postos em funcionamento. No entanto, todas estas implementações são críticas, pois com toda a facilidade que hoje em dia qualquer empresa tem em imitar determinado processo ou produto, e com os baixos custos de compra existente no mercado asiático, tem de se estar sempre em constante evolução para se manter no nível certo em todo o mercado económico.

Com a implementação das metodologias descritas nos capítulos anteriores conseguiu-se melhorias de produtividade muito significativas, com uma redução dos tempos de produção na ordem dos 18% durante o período de análise, sendo que é previsto que essa redução continue

¹⁸ A partir deste ponto passou-se sobretudo a realizar só o *arc-air* quando eram detetados os erros. Daí os tempos no relatório de tempo na etapa do *arc-air* não ser 0.

nas próximas semanas, tendo em conta a tendência analisada. Isto aponta para que através de simples normalizações e estabilizações de determinados processos consegue-se reduzir a sua variabilidade, o que tem um impacto imediato nos tempos de produção. A criação de células e de equipas de produção também se apresentou extremamente vantajosa em termos de organização da fábrica.

A implementação dos indicadores de resultados também foi um aspeto fundamental na realização da dissertação, pois graças a eles é possível ter uma visão constante do estado da produção e é possível perceber quais as equipas que estão a realizar melhor o seu trabalho.

Para se continuar com esta política de melhoria contínua também é extremamente importante a boa realização das auditorias propostas, pois com isso é mais fácil encontrar novas formas de melhorar o processo. Com esta política é possível ter em conta a opinião dos colaboradores, o que é vital para o sucesso de qualquer empresa. A redução de todo o tipo de desperdícios deve ser prioritária.

Podemos então concluir que os resultados obtidos, tanto ao nível dos tempos de produção como na redução dos defeitos encontrados, foram muito positivos, o que mostra que a aplicação destas metodologias *lean* e 5S são de extrema importância para o sucesso de um negócio.

6.3 Trabalhos Futuros

Antes de tudo, a estabilização e a realização das auditorias propostas são fundamentais para o bom funcionamento da fábrica. Após isso deve ser realizado um novo estudo dos tempos de forma a ser possível identificar o valor exato dos tempos de valor acrescentado e de valor não acrescentado, ou seja, o tempo real de trabalho. Para isso deve ser implementado um sistema de monitorização mais eficaz, como por exemplo, um método onde os colaboradores marquem a hora de início e fim de cada trabalho. Outro estudo interessante seria analisar os processos onde o tempo de produção é inferior ao takt time e reduzir esse mesmo desperdício. Em conjunto com estas implementações, também na fábrica das virolas, deveria ser criada uma reorganização das linhas e fixação de equipas em todas as operações, com o propósito de responsabilizar e motivar mais os colaboradores.

Uma análise dos defeitos de soldadura também seria um bom aspeto a ter em conta, de forma a ser possível identificar em que momentos as falhas ocorrem e de que forma elas poderão ser minimizadas. Para além disso também uma nova forma de verificação da posição correta dos acabamentos podia ser estudada, pois é uma zona onde podem ser exploradas muitas formas de reduções de tempo.

Posto isto, deve-se então continuar com uma política de melhoria contínua de forma a propor formas de reduções de tempo equivalentes em todas as zonas da fábrica de modo a ter um fluxo melhorado do processo produtivo.

Referências

- Barreto, Rafael. 2016. “5S Na Veia.” <http://vamosquevamos.com/5s-na-veia/>.
- Camacho e Silva, Bruno Samuel. 2013. “A Engenharia Civil E a Produção Industrial de Energia Eólica.”
- Chandoo. 2014. “World Biggest Offshore Wind Farm - London Array.” *17 Janeiro*. <http://forum.xcitefun.net/world-biggest-offshore-wind-farm-london-array-t92212.html>.
- Coimbra, E. 2013. *Kaizen in Logistics and Supply Chains*. McGraw-Hill Education.
- DAVI. 2007. “DAVI - Wind Towers Division - System to Roll Towers.” www.davi.com.
- Goldratt, E M, and J Cox. 2006. *A Meta: Um Processo de Melhoria Contínua*. Nobel.
- Jacobs, F R, and R B Chase. 2008. *Operations and Supply Management: The Core*. McGraw-Hill/Irwin Series Operations and Decision Sciences. McGraw-Hill Irwin.
- Jones, D T, and J P Womack. 2013. *Lean Solutions: How Companies and Customers Can Create Value and Wealth Together*. Simon & Schuster UK.
- LAMTEC. 2014. “Funcionamento de Uma Turbina Eólica.” “Laboratório de Ambiente Marinho e Tecnologia, Universidade dos Açores. <http://www.lamtec-id.com/energias/eolica.php>.
- Liker, J K. 2003. *The Toyota Way: 14 Management Principles from the World’s Greatest Manufacturer*. McGraw-Hill Education.
- Locher, D A. 2008. *Value Stream Mapping for Lean Development: A How-To Guide for Streamlining Time to Market*. NetLibrary, Inc. CRC Press.
- Modrák, V. 2014. *Handbook of Research on Design and Management of Lean Production Systems*. Advances in Logistics, Operations, and Management Science: IGI Global.
- Ohno, T. 1988. *Toyota Production System: Beyond Large-Scale Production*. Taylor & Francis.
- Oliveira, Marcelo Barbosa de. 2011. “Relatório Calandra.” <http://www.ebah.com.br/content/ABAAABp0MAD/relatorio-calandra>.
- Pereira, Alexandre. 2012. “Processos de Fabrico - Calandragem.” <http://www.ebah.pt/content/ABAAAfOs0AF/calandragem#>.
- Portal Energias Renováveis. 2015. “O Maior Parque Eólico Offshore Do Mundo.” *29 de Novembro*. <http://www.portal-energia.com/o-maior-parque-eolico-offshore-do-mundo/>.
- Prado, Miguel. 2016. “Produção Hidroelétrica Em Portugal Atinge Recorde.” *01 de Julho*. http://expresso.sapo.pt/economia/economina_energia/2016-07-01-Producao-hidroeletrica-em-Portugal-atinge-recorde.
- Prandi, Jair. 2012. “A Maior Turbina Eólica Do Mundo.” <http://gigantesdomundo.blogspot.pt/2012/01/maior-turbina-eolica-do-mundo.html>.
- Renováveis, Portal de Energia. 2016. “Energia Eólica.” *08 de Agosto*. <http://www.portal-energia.com/energia-eolica/>.
- Rother, M, J Shook, and Lean Enterprise Institute. 2003. *Learning to See: Value Stream Mapping to Add Value and Eliminate Muda*. A Lean Tool Kit Method and Workbook. Taylor & Francis.
- Saia, Rafael. 2009. “O Lean Manufacturing Aplicado Em Ambientes de Produção Engineer-To-Order.”
- Santos, Leandro Rosa dos. 2003. “Gestão Da Maturidade de Processos Essenciais -

Convergência Para O Futuro.”
http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1676-56482003000100002.

Shingo, S. 1986. *Zero Quality Control: Source Inspection and the Poka-Yoke System*. Taylor & Francis.

Silva, Francisco J. G. 2014. *Tecnologia Da Soldadura - Uma Abordagem Técnico-Didática*. Publindúst.

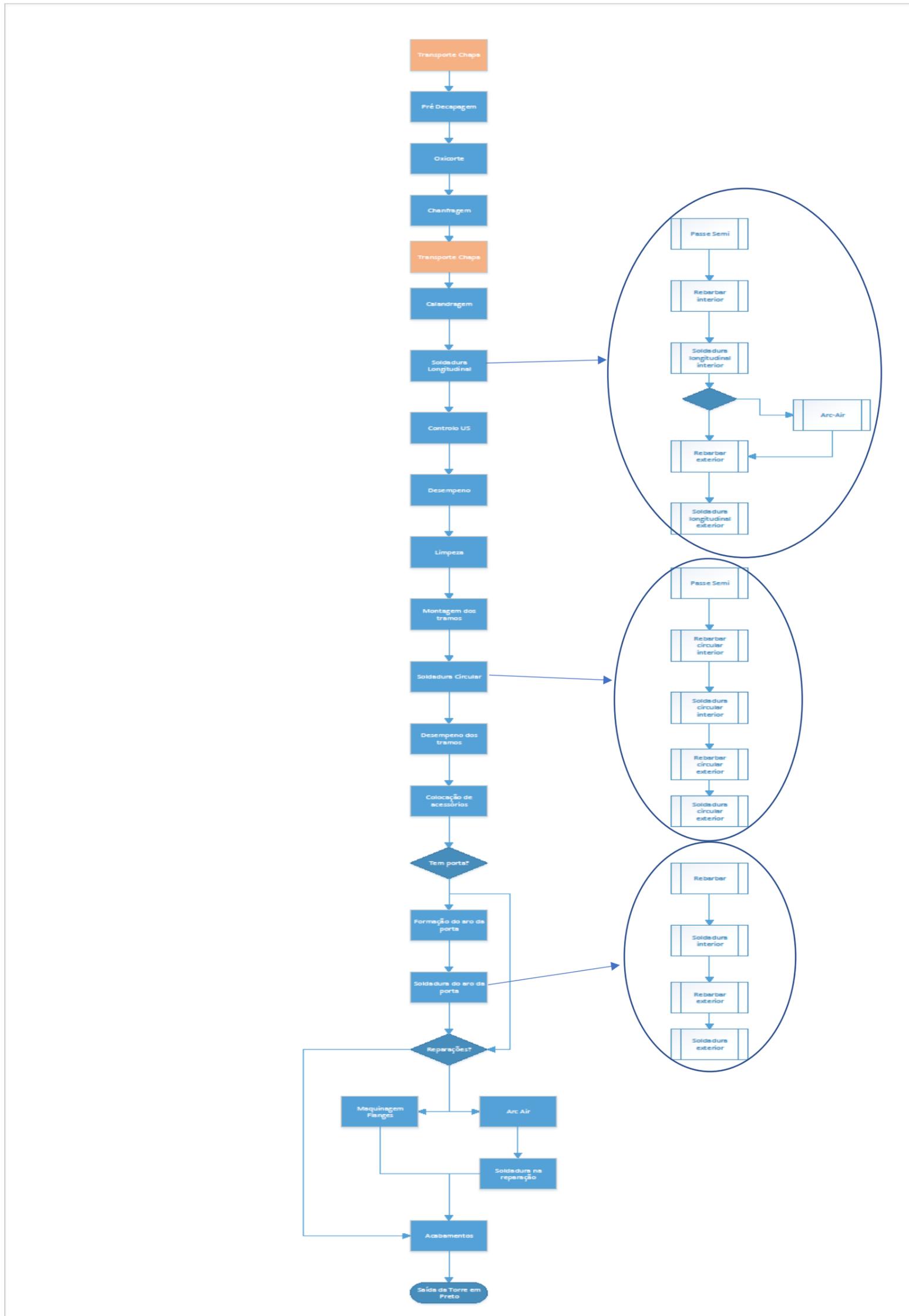
TEGOPI. 2016. “Catálogo Geral Da TEGOPI.”
http://www.tegopi.pt/?mod=pdinamicas_pag&id=2&_item=1.

Tomé, Paulo. 2014. “Simulação de Um Processo Industrial de Fabrico de Torres Eólicas Engenharia Mecânica Júri.”

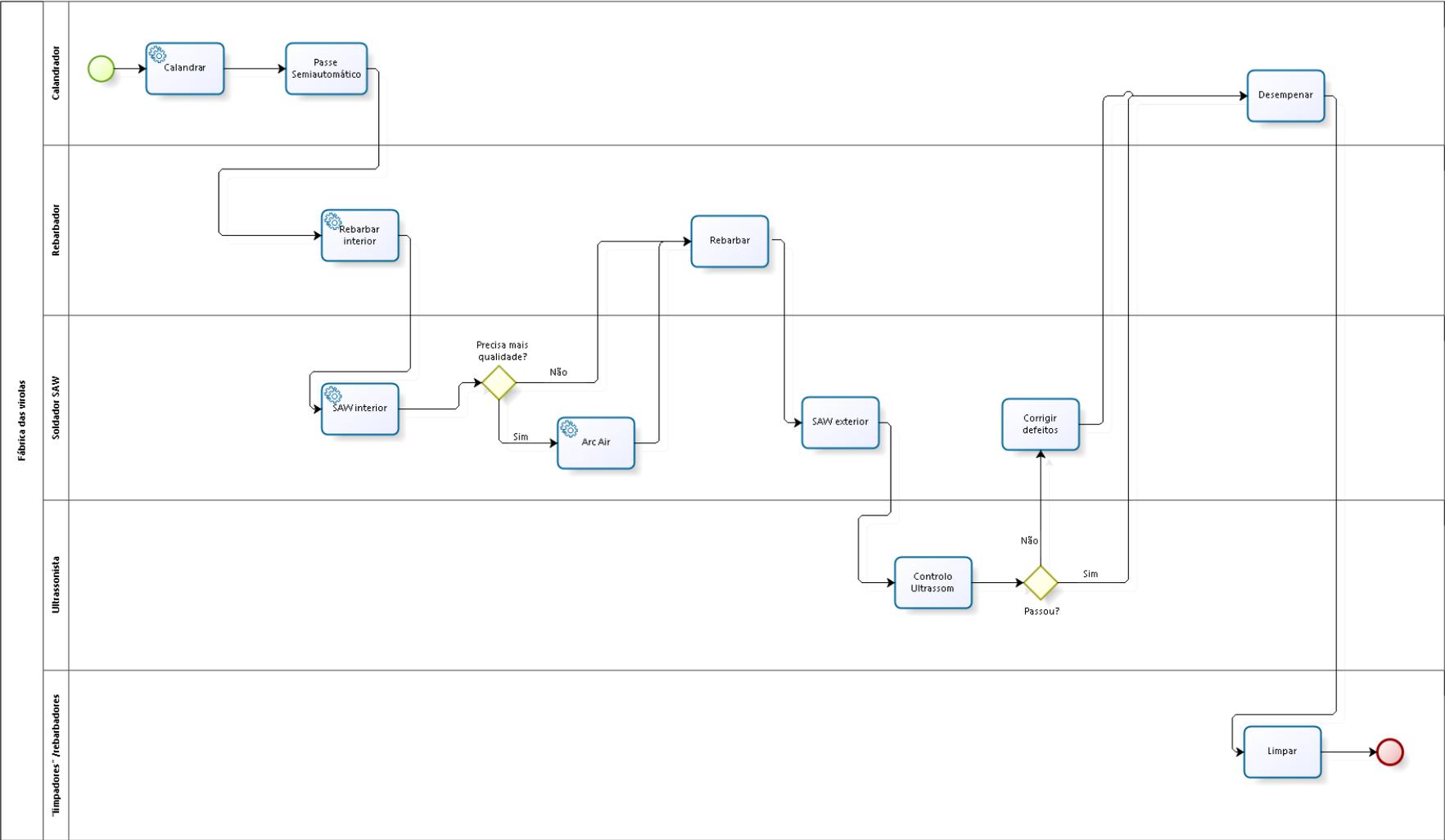
ANEXO A: Cronograma

Atividade	w1	w2	w3	w4	w5	w6	w7	w8	w9	w10	w11	w12	w13	w14	w15	w16	w17	w18
Planeamento e Abordagem à realização da dissertação	█																	
Revisão Bibliográfica	█	█	█	█														
Caracterização da empresa e do negócio	█	█	█	█														
Análise As-Is do processo produtivo		█	█	█	█	█	█	█										
Análise do processo		█	█	█	█	█												
Identificação das fontes de desperdício		█	█	█	█	█												
Medição dos tempos das tarefas		█	█	█	█	█												
Realização do Value Stream Mapping		█	█	█	█	█	█											
Análise e avaliação dos takt times						█	█	█										
Definição e Implementação de modelos To-Be							█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	
Implementação de metodologias Lean no shop floor							█	█	█	█	█	█	█	█	█			
Definição de standards (TO-BE) de trabalho							█	█	█	█	█	█	█	█	█			
Implementação standards										█	█	█	█	█	█	█	█	
Implementação de indicadores de desempenho										█	█	█	█	█	█	█	█	
Análise dos resultados																█	█	█
Elaboração da dissertação	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█

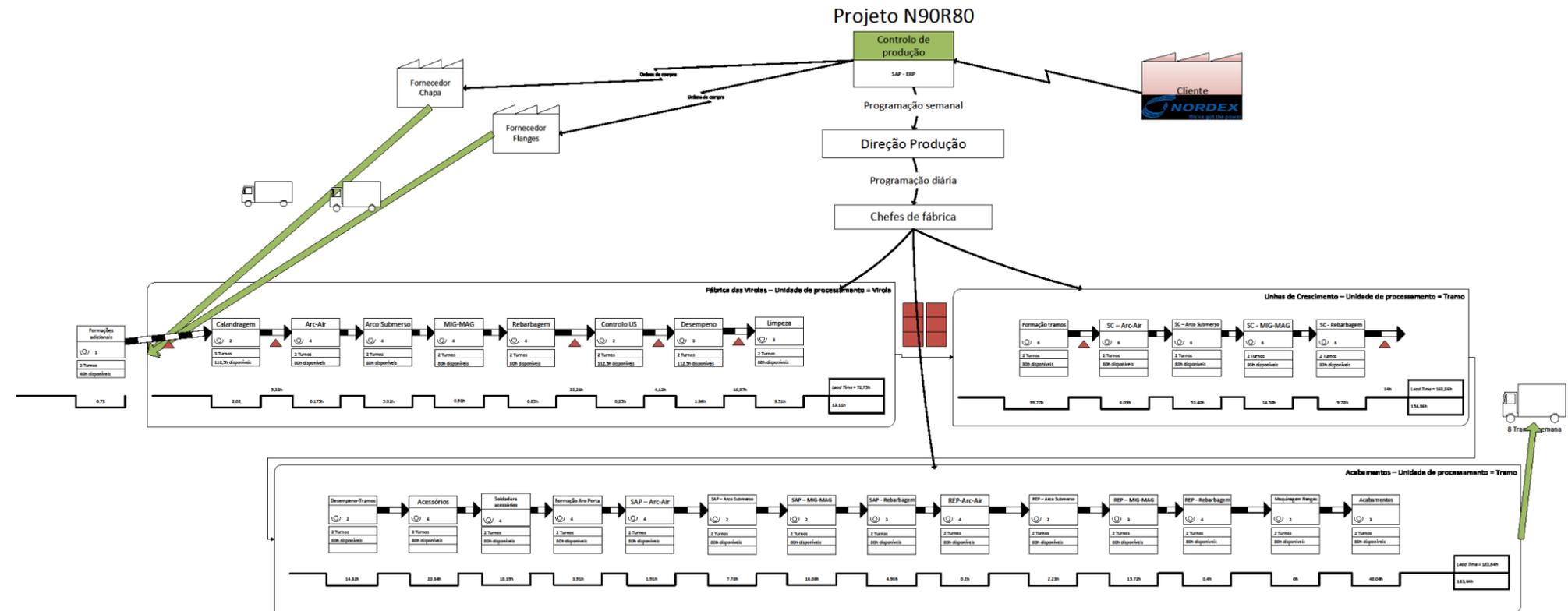
ANEXO C: Fluxograma de produção



ANEXO D: Swimlane da fábrica das Virolas



ANEXO E: VSM do Projeto N90R80



-  Buffer entre processos dentro de cada zona de produção
-  Buffer entre cada uma das zonas de produção
-  Processo com o número respetivo de postos de trabalho
-  Cliente/Fornecedor
-  Seta que representa o movimento do fluxo
-  Linha temporal
-  Caixa que em cima tem o tempo acumulado de valor não acrescentado e em baixo o tempo acumulado de valor acrescentado
-  Camião que representa o meio de transporte da matéria-prima e dos tramos concluídos

ANEXO F: Quadro de indicadores da fábrica das virolas

Anexo F: Tabela 1 – Quadro de indicadores da fábrica das virolas.

Fábrica de Virolas - Indicadores									
Semana: 8		2ª	3ª	4ª	5ª	6ª	TOTAL TURNO	Total	Objetivo
Calandradas	Manhã								
	Tarde								
	Noite								
Soldadas	Manhã								
	Tarde								
Desempenadas	Manhã								
	Tarde								
	Noite								
Limpas	Manhã								
	Tarde								
Virolas - Objetivo mensal									
Semana-->	8	9	10	11				Total	Média
Calandradas									
Soldadas									
Desempenadas									
Limpas									

Anexo F: Tabela 2 – Quadro de indicadores da fábrica das virolas (Exemplo de um preenchimento).

Fábrica de Virolas - Indicadores									
Semana: 17		2ª	3ª	4ª	5ª	6ª	TOTAL TURNO	Total	Objetivo
Calandradas	Manhã	3	3	4	5	3	18	62	55
	Tarde	6	6	5	6	5	28		
	Noite	3	3	4	3	3	16		
Soldadas	Manhã	6	6	5	6	7	30	62	55
	Tarde	6	6	6	6	8	32		
Desempenadas	Manhã	4	4	3	4	3	18	62	55
	Tarde	0	6	6	4	5	21		
	Noite	9	4	3	4	3	23		
Limpas	Manhã	3	5	4	3	3	18	66	55
	Tarde	5	11	13	10	9	48		
Virolas - Objetivo mensal									
Semana-->	12	13	14	15	16			Total	Média
Calandradas			66	53	62			181	60
Soldadas			66	53	62			181	60
Desempenadas			73	46	62			181	60
Limpas			55	52	66			173	58

Na tabela 1 do anexo F está exposto o layout criado para o quadro de indicadores da fábrica das virolas, enquanto que na tabela 2 do anexo F está exposto um exemplo de um preenchimento desse mesmo quadro. Na figura X do anexo F podemos ver o quadro na fábrica. Neste quadro são preenchidos na primeira parte o número de virolas trabalhadas em cada posto e em cada turno sendo somado o total e comparado com o objetivo. Na segunda parte são apresentados os resultados semana a semana.

Fábrica das Virolas - Indicadores		TEGOPI Performing steel since 1946						
Semana		10	2ª	3ª	4ª	5ª	6ª	Objetivo
Calandradas	Manhã	2	0					55
	Tarde	2	5					
	Noite	0	4	2				
Soldadas	Manhã	4	3					55
	Tarde	6	4					
	Noite							
Desempenadas	Manhã	3	3					55
	Tarde	1	5					
	Noite	5	3	3				
Controlo US	Manhã							55
	Tarde							
	Noite							
Limpas	Manhã	4	5					55
	Tarde	4	4					
	Noite							

Mês		MARÇO 2017					
Semana	8	9	10	11	TOTAL	12	
Objetivo	55	55	55	55	220		
Atingido	↓	↓	↓	↓	↓		
Calandra	63	57	41		220		
Soldadas	65	50	39		220		
Desemp.	56	44	76		220		
US					220		
Limpas	70	48	52		220		

Anexo F: Figura 1 – Quadro de indicadores exposto na fábrica das virolas.

ANEXO G: Quadro de indicadores das Linhas de Crescimento e Acabamentos

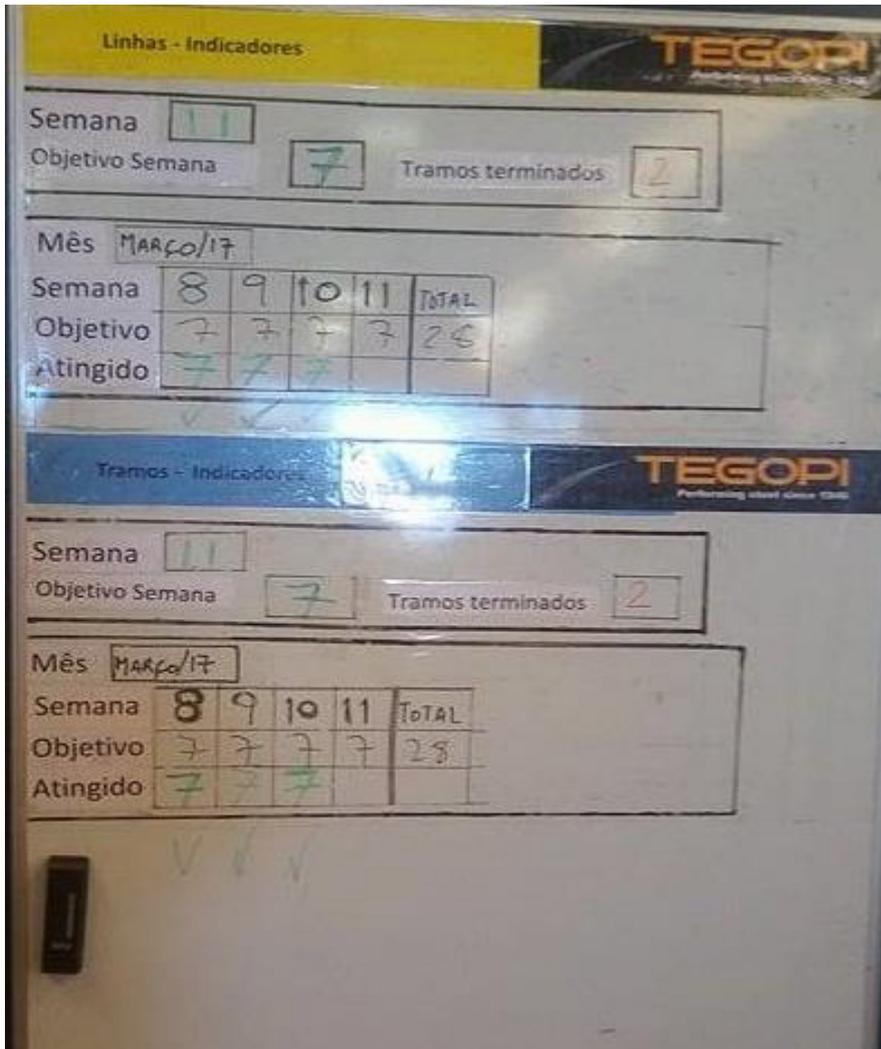
Anexo G: Tabela 1 – Quadro de indicadores das Linhas de crescimento e Acabamentos.

Linhas - Indicadores						
Objetivo						
Atingido						
Semana ->	8	9	10	11	TOTAL	Média
Objetivo-->						
Atingido ->						
TRAMOS PARA DECAPAR - Indicadores						
Objetivo						
Atingido						
Semana ->	8	9	10	11	TOTAL	Média
Objetivo-->						
Atingido ->						

Anexo G: Tabela 2 – Quadro de indicadores das Linhas de Crescimento e Acabamentos (Exemplo de um preenchimento).

Linhas - Indicadores							
Objetivo		8					
Atingido		10					
Semana ->	12	13	14	15	16	17	TOTAL
Objetivo-->	6	1	0	7	8	8	30
Atingido ->	6	1	0	7	8	10	32
TRAMOS PARA DECAPAR - Indicadores							
Objetivo		8					
Atingido		7					
Semana ->	12	13	14	15	16	17	TOTAL
Objetivo-->	7	7			8	8	30
Atingido ->	7	8	4	2	8	8	37

Na tabela 1 do anexo G está exposto o layout criado para o quadro de indicadores das Linhas de Crescimento e dos Acabamentos, enquanto que na tabela 2 do anexo G está exposto um exemplo de um preenchimento desse mesmo quadro. Na figura 1 do anexo G podemos ver o quadro na fábrica. Neste quadro são preenchidos na primeira parte o número de tramos concluídos por semana, comparado com o objetivo. Na segunda parte são apresentados os mesmos resultados para os acabamentos.



Anexo G: Figura 1 – Quadro de indicadores exposto nas Linhas de Crescimento e Acabamentos.

ANEXO H: Quadro de eficiências das equipas das Linhas de Crescimento

Anexo H: Tabela 1 – Quadro de eficiência das equipas (diário).

Linhas - Indicadores das equipas									
Semana:		2ª	3ª	4ª	5ª	6ª		Total	Objetivo
EQUIPA 296	EFICIÊNCIA								100%
	SOLDADAS								
	ARQUEADAS								0
EQUIPA 213	EFICIÊNCIA								100%
	SOLDADAS								
	ARQUEADAS								0
EQUIPA 283	EFICIÊNCIA								100%
	SOLDADAS								
	ARQUEADAS								0
EQUIPA 379	EFICIÊNCIA								100%
	SOLDADAS								
	ARQUEADAS								0
EQUIPA 335	EFICIÊNCIA								100%
	SOLDADAS								
	ARQUEADAS								0
EQUIPA 378	EFICIÊNCIA								100%
	SOLDADAS								
	ARQUEADAS								0

Anexo H: Tabela 2 – Quadro de eficiência das equipas (semanal).

Linhas - Indicadores das equipas									
Mês:		s11	s12	s14	s15			Total	Objetivo
EQUIPA 296	EFICIÊNCIA								100%
	SOLDADAS								
	ARQUEADAS								0
EQUIPA 213	EFICIÊNCIA								100%
	SOLDADAS								
	ARQUEADAS								0
EQUIPA 283	EFICIÊNCIA								100%
	SOLDADAS								
	ARQUEADAS								0
EQUIPA 379	EFICIÊNCIA								100%
	SOLDADAS								
	ARQUEADAS								0
EQUIPA 335	EFICIÊNCIA								100%
	SOLDADAS								
	ARQUEADAS								0
EQUIPA 378	EFICIÊNCIA								100%
	SOLDADAS								
	ARQUEADAS								0

Na tabela 1 do anexo H está exposto o quadro de indicadores das equipas das Linhas de Crescimento. Para este quadro cada uma das equipas vai ter o objetivo de cumprir o valor de 100% de eficiência, o número de circulares soldadas respetivo para cada linha (depende dos tramos que vão ser trabalhados em cada célula) e 0 circulares arqueadas. Na tabela 2 do anexo H estão expostos os resultados semanais dessas mesmas equipas. Na figura 1 do anexo H é possível ver o quadro de indicadores exposto na fábrica.

		2ª	3ª	4ª	5ª	6ª	Total	Objetivo
Equipa 283	Eficiência	0%	22%	49%				100%
	Soldadas	0	0	2				
	Arqueadas	0	0	0				0
Equipa 296	Eficiência	44%	69%	94%				100%
	Soldadas	0	3	4				
	Arqueadas	0	0	0				0
Equipa 213	Eficiência	38%	70%	63%				100%
	Soldadas	0	1	2,5				
	Arqueadas	0	0	0				0
Equipa 379	Eficiência	0%	17%	11%				100%
	Soldadas	0	0	0				
	Arqueadas	0	0	0				0
Equipa 335	Eficiência	27%	28%	94%				100%
	Soldadas	0	2	3				
	Arqueadas	0	0	0				0
Equipa 378	Eficiência	0%	0%	0%				100%
	Soldadas	0	0	0				
	Arqueadas	0	0	0				0

Anexo H: Figura 1 – Quadro de eficiência exposto nas Linhas de Crescimento.

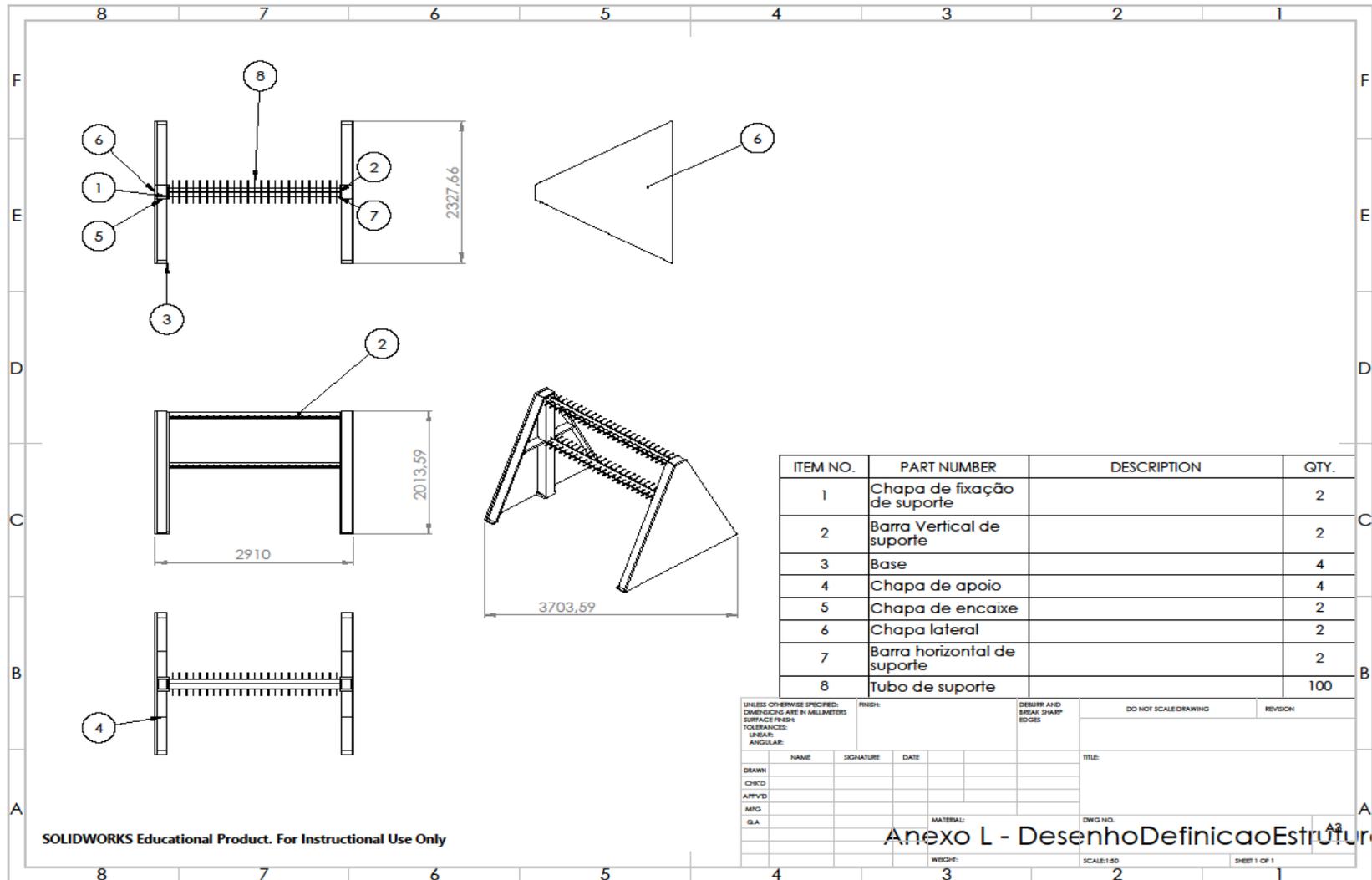
ANEXO I: Quadro de indicadores dos defeitos

Tipo defeito	Objetivo	Semana 9	Semana 10	Semana 11	Semana 12	Semana 13	Semana 14	Semana 15	Semana 16	Semana 17	Semana 18
Ovalizações acima da standard											
Nº pinos com defeito											
Reparações soldadura SAW											

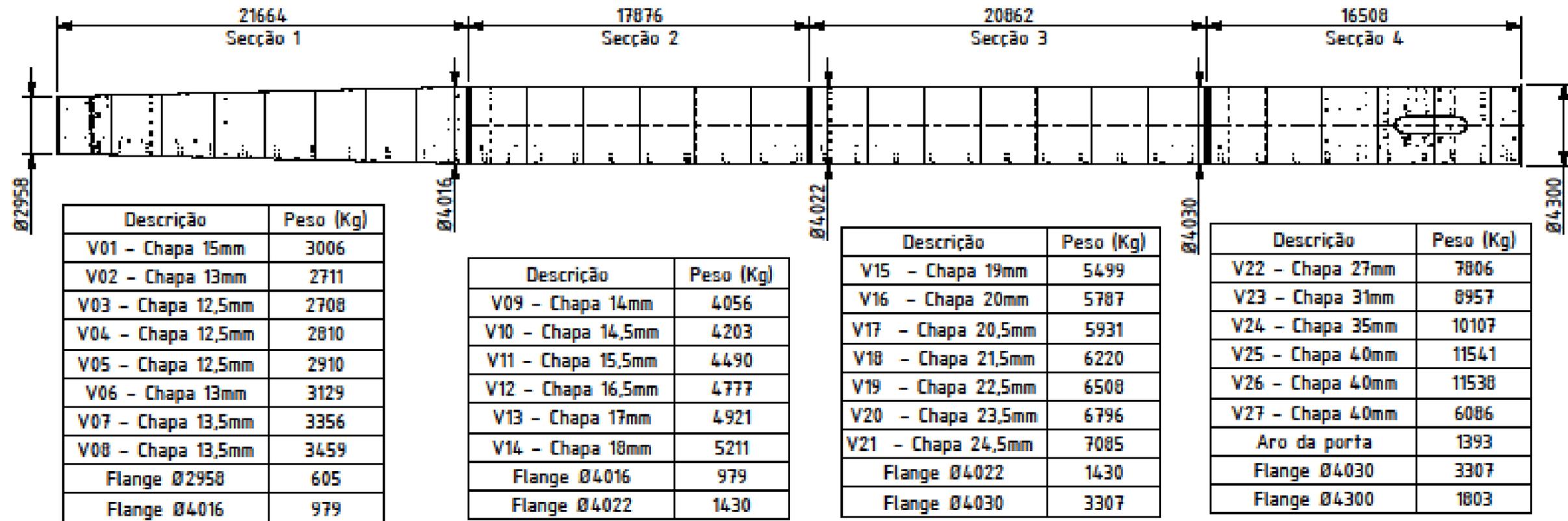
ANEXO J: Base de Dados dos Raios para apoio a calandrar

Lista de Raios para apoio à Calandrada existente - Ordenados por ordem crescente por coluna													Intervalo	Nº Raios
576	1672	2031	2284	2467	2605	2780,5	2948	3099	3308	3585	3825	4236	-1000	4
782	1734	2031	2288	2467	2605	2780,5	2953	3100	3313	3589	3827	4248	1000-1099	5
858	1740	2036	2288	2468	2610	2787	2953	3107	3340	3589	3827	4248	1100-1199	4
917	1742	2056	2289	2468	2610	2787	2958	3110	3340	3595	3850	4260	1200-1299	3
1020	1742	2063	2293	2469	2612	2794	2958	3110	3344	3595	3850	4260	1300-1399	11
1024	1752	2071	2294	2472	2615	2794	2960	3120	3344	3600	3861	4270	1400-1499	9
1078	1752	2075	2294	2472	2627	2800	2968	3136	3352	3608	3861	4325	1500-1599	7
1078	1773	2086	2297	2481	2633	2802	2968	3136	3352	3630	3872	4325	1600-1699	9
1093	1789	2086	2297	2481	2633	2802	2974	3143,5	3360	3630	3886	4329	1700-1799	9
1172	1790	2096	2300	2484	2633	2808	2974	3143,5	3360	3634	3886	4329	1800-1899	15
1172	1824	2096	2306	2484	2636	2808	2982	3143,5	3368	3634	3900	4381	1900-1999	14
1180	1824	2100	2321	2488	2636	2809	2982	3145	3368	3641	3909	4395	2000-2099	22
1185	1835	2105	2321	2488	2641	2814	2985	3161	3370	3641	3914	4395	2100-2199	19
1232	1835	2108,5	2330	2497	2641	2815	2985	3161	3376	3651	3919	4435	2200-2299	28
1280	1844	2133,5	2330	2498	2645	2815	2991	3161	3376	3651	3919	4448	2300-2399	21
1281	1845	2134	2332	2500	2646	2818	2991	3173	3384	3658	3928	4450	2400-2499	35
1300	1865	2136	2334	2503	2646	2827	2997	3174	3384	3658	3938	4470	2500-2599	34
1300	1869	2136	2343	2503	2652	2827	2997	3177	3400	3666	3953	4470	2600-2699	28
1315	1869	2143	2343	2509	2652	2835	2997	3177	3406	3666	3953	4534	2700-2799	29
1326	1874	2146	2356	2509	2659	2839	2998,5	3180	3406	3673	3963	4557	2800-2899	33
1333	1881	2151	2356	2518	2666	2850	3000	3180	3420	3673	3963	4557	2900-2999	31
1356	1881	2151	2357	2518	2670	2850	3000	3191	3420	3674	3972	4565	3000-3099	29
1362	1888	2160	2357	2521	2670	2850	3008	3191	3428	3678	3972	4565	3100-3199	24
1370	1888	2160	2373	2526	2674	2867	3008	3200	3430	3690	3975	4620	3200-3299	23
1380	1893	2176	2375	2526	2677	2867	3014	3206	3438	3698	3990		3300-3399	21
1382	1903	2176	2375	2528	2677	2878	3014	3214	3438	3698	3990		3400-3499	17
1391	1903	2184	2382	2534	2681	2879	3019	3214	3441	3700	4000		3500-3599	21
1415	1910	2184	2392	2539	2700	2879	3026	3217	3459	3706	4001		3600-3699	21
1421	1910	2188	2392	2539	2700	2880	3026	3220	3460	3706	4012		3700-3799	21
1431	1932	2196	2398	2540	2700	2880	3030	3220	3463	3720	4030		3800-3899	13
1432	1942	2196	2399	2540	2707	2882	3030	3226	3464	3720	4041		3900-3999	16
1434	1942	2200	2400	2554	2707	2882	3032	3226	3474	3724	4041		4000-4099	12
1442	1953	2205	2400	2554	2707,5	2886	3032	3230	3474	3730	4070		4100-4199	7
1463	1953	2215	2400	2554	2715	2886	3036	3233	3480	3730	4076		4200-4299	11
1484	1960	2215	2406	2554	2715	2887	3036	3233	3500	3740	4082		4300-4399	7
1500	1960	2222	2409,5	2557	2721	2887	3045	3247	3500	3740	4082		4400-4449	5
1527	1961	2225	2409,5	2558	2721	2887	3045	3249	3500	3742	4090		4500-4599	5
1551	1991	2230	2413	2558	2724	2889	3053	3259	3511	3742	4090		4600-4699	1
1551	1991	2230	2413	2558	2735	2889	3055	3261	3511	3756	4122			
1558	1999	2242	2418	2558	2735	2900	3061	3271	3514	3759	4131			
1558	1999	2242	2422	2558,5	2736	2911	3061	3271	3533	3759	4144			
1559	2000	2255	2425	2565	2744	2919	3063	3282	3533	3767	4161			
1599	2005	2259,5	2425	2578	2744	2919	3063	3289	3547	3773	4161			
1612	2006	2259,5	2429	2578	2748	2923,5	3069	3289	3547	3773	4170			
1618	2014	2263	2433	2582	2748	2923,5	3069	3293	3551	3785	4170			
1640	2014	2268	2433	2582	2752	2927	3070,5	3293	3560	3785	4200			
1643	2015	2268	2440	2586	2752	2937	3084	3300	3562	3795	4202			
1668	2016	2272	2442	2593	2773	2937	3090	3301	3577	3800	4202			
1668	2027,5	2272	2442	2593	2773	2943	3094	3302	3577	3801	4220			
1672	2027,5	2284	2447	2600	2780,5	2943	3099	3308	3585	3801	4236			

ANEXO K: Desenho de definição da estrutura para suporte dos raios de apoio às calandras



ANEXO M: Desenho do projeto N90R80



ANEXO N: Folha de Normalização de Operações

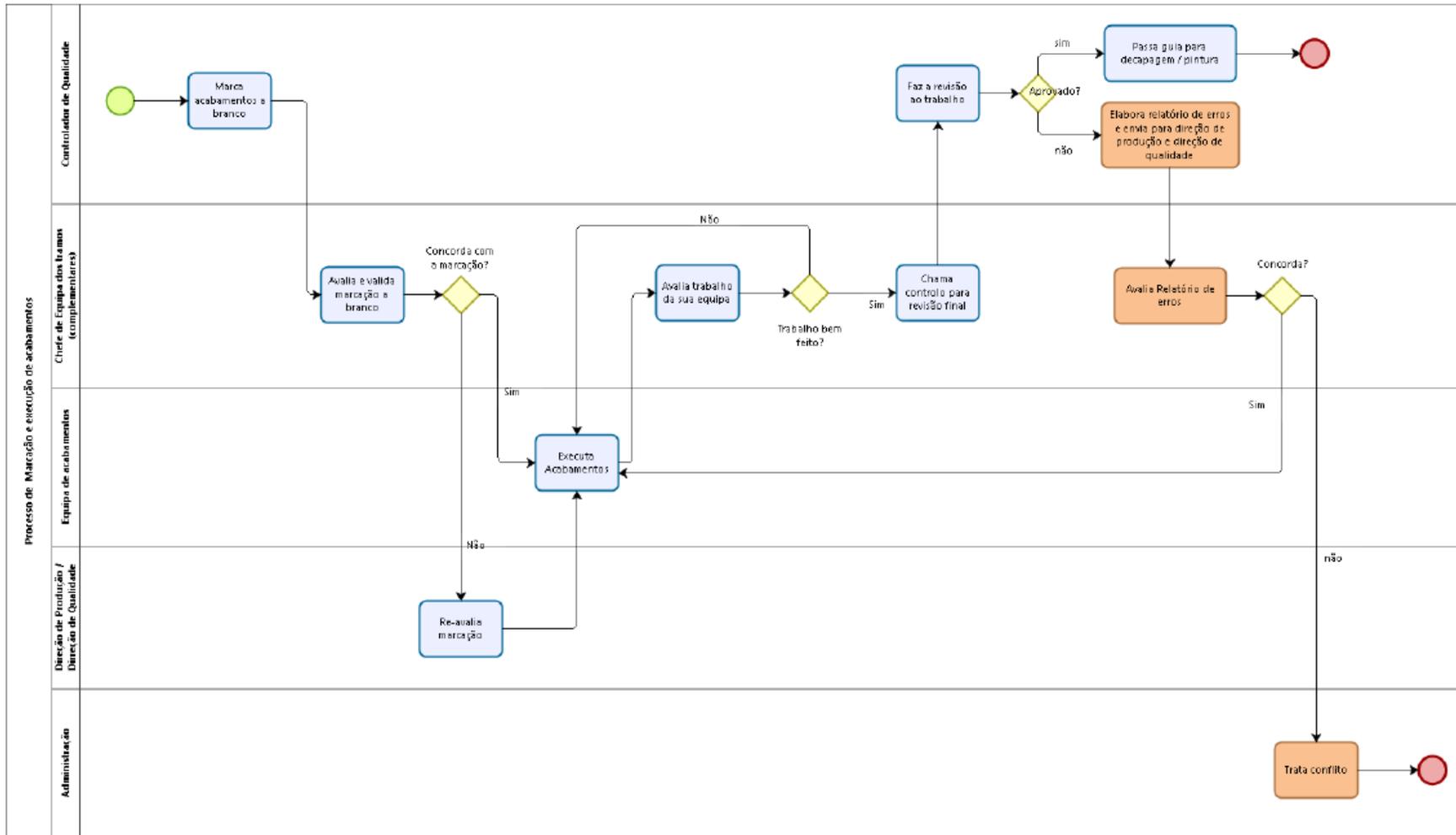
Folha Normalizada de trabalho da Fábrica das Virolas					
Sequência	Operação	Espessura	Nº Operadores	Posto de trabalho	Tempo (h)
1	Calandragem	15 a 30 mm	1	CL4/CL5	1,5
1	Calandragem	> 30 mm	1	CL4/CL5	1,85
2	Passe semi		1	LT1/LT2/LT3/LT4	0,5
3	Rebarbar interior		1	LT1/LT2/LT3/LT4	0,5
4	Soldadura interior	16 a 23 mm	1	LT1/LT2/LT3/LT4	1
4		24 a 33 mm	1	LT1/LT2/LT3/LT4	1,5
4		34 a 43 mm	1	LT1/LT2/LT3/LT4	3
4		44 a 53 mm	1	LT1/LT2/LT3/LT4	2,5
4		54 a 63 mm	1	LT1/LT2/LT3/LT4	2,5
5	Arc-air		1	LT1/LT2/LT3/LT4	
6	Rebarbar exterior		1	LT1/LT2/LT3/LT4	0,5
7	Soldadura exterior	< 15mm	1	LT1/LT2/LT3/LT4	0,75
7		15 a 43 mm	1	LT1/LT2/LT3/LT4	1
7		> 43 mm	1	LT1/LT2/LT3/LT4	2
8	Desempeno	10 a 30mm	1	CL4/CL5	1,5
8		> 30mm	1	CL4/CL5	1,85
9	Controlo US		1		0,25
10	Limpeza	10 a 33 mm	2	L1/L2/L3	1
10		34 a 43 mm	2	L1/L2/L3	1,5
10		> 43 mm	2	L1/L2/L3	2,5

Espessuras	Tempo acumulado (h)
0 a 15	7,5
15 a 23	7,75
24 a 33	8,95
34 a 43	10,95
44 a 53	12,45
54 a 63	12,45

Ferramentas necessárias	
Ponte 10t	F1
Aparelho Mig Mag	F2
Cristo de soldadura	F3
Rebarbadeira	F4
Arc air	F5
Calandra	F6

Movimentação: Entre: 1 e 2, 7 e 8, 9 e 10

ANEXO O: Processo de execução e marcação de acabamentos



ANEXO P: Lista de auditoria 5S

Lista de Verificação dos 5S							
Equipa:		Nota anterior:	Auditoria nº:				
			Data:				
5S's	Assunto a ser auditado	Descrição para o auditor	Pontuação				
			NA	0	1	3	5
1º S - Utilização	1.1 Materiais e Equipamentos	Todo o material, equipamentos espalhados pelos postos de trabalho são necessários					
	1.2 Documentos	Todos os documentos (desenhos e procedimentos) encontram-se atualizados e devidamente preenchidos					
	1.3 Ferramentas	Ferramentas usadas regularmente e com as calibrações atualizadas					
	1.4 Controlo Visual	Todas as ferramentas e equipamentos devidamente identificadas					
	1.5 Desperdícios	Mangueiras que vazam ar, torneiras a pingar e outros excessos desnecessários					
2º S - Organização	2.1 Locais de armazenagem	Ferramentas colocadas sempre nos locais indicados no fim da sua utilização					
	2.2 Documentos armazenados	Documentos organizados e prontamente recuperáveis					
	2.3 Locais de deposição de lixo	Locais para deposição de lixos claramente identificados					
	2.4 Layout	Minimização dos movimentos dos colaboradores e da ocupação de espaço					
	2.5 Produtos "perigosos" identificados	Produtos perigosos devidamente identificados					
3º S - Limpeza	3.1 Posto de trabalho	Posto de trabalho em condições ideais para o turno seguinte					
	3.2 Zona de resíduos	Zona de resíduos utilizada corretamente					
	3.3 Zona de movimentação	Locais de transporte de cargas e de movimentação do pessoal nas condições necessárias					
	3.4 Máquinas	Máquinas limpas e nas condições ideais					
	3.5 Atividades habituais	Varrer e deixar material pessoal de trabalho devidamente organizado					
4º S - Saúde	4.1 Uso correto dos EPI	Uso adequado às tarefas exercidas					
	4.2 Área de trabalho	Área de trabalho é segura e adequada					
	4.3 Práticos de atos inseguros	Cuidado em não praticar qualquer ato que seja considerado inseguro					
	4.4 Mapa de risco	Mapa atualizado de todas as áreas, assim como de materiais de segurança (Ex. Extintores)					
5º S - Disciplina	5.1 Realização de manutenções	Existências de manutenções de forma a manter as condições necessárias do posto de trabalho					
	5.2 Uso correto do cartão	Uso correto do cartão de presença e cumprimento de horários					
	5.3 Cumprimento dos regulamentos	Cumprimento de todas as regras					
	5.4 Seguintos	Realização de auditorias com frequência					
	5.5 Autonomia de ideias	Capacidade de sugestão de novas ideias para aplicação 5S's					